



Cauberg-Huygen

Amerikalaan 14

6199 AE MAASTRICHT - AIRPOF

Postbus 480

6200 AL MAASTRICHT

T +31 (0)43-3467878

E maastricht.ch@dpa.nl

www.dpa.nl/cauberg-huygen

K.v.K 58792562

IBAN NL71 RABO 0112 075584

**Trillingsonderzoek railverkeer nieuwbouw Archimedesplantsoen Amsterdam;
prognose trillingssterkte SBR Richtlijn B**

Datum **19 december 2017**
Referentie **03624-23158-02**

Referentie 03624-23158-02
Rapporttitel Trillingsonderzoek railverkeer nieuwbouw Archimedesplantsoen Amsterdam;
prognose trillingssterkte SBR Richtlijn B

Datum 19 december 2017

Opdrachtgever Gemeente Amsterdam
Ruimte & Duurzaamheid
Postbus 94801
1090 GV AMSTERDAM
Contactpersoon Mevrouw E. Bosman

Behandeld door C.J. Ostendorf
DPA Cauberg-Huygen B.V.
Amerikalaan 14
6199 AE MAASTRICHT - AIRPORT
Postbus 480
6200 AL MAASTRICHT
Telefoon 043-3467878
Fax 043-3476347

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Uitgangspunten	5
2.1	Opzet onderzoek	5
2.2	Toetsingskader	5
3	Trillingsmetingen	7
3.1	Algemeen	7
3.2	Meetposities	7
3.3	Meetparameters	9
4	Meetresultaten	10
4.1	Bemande metingen	10
4.2	Onbemande metingen	10
4.3	Gebruikte gegevens voor prognose	11
5	Prognose	13
5.1	Werkwijze	13
5.2	Invoergegevens	13
5.3	Resultaat prognose verticale trilling	15
5.4	Beoordeling verticale trillingssterkte	16
5.5	Beschouwing	16
6	Conclusie en advies	18
6.1	Conclusies	18
6.2	Advies	18

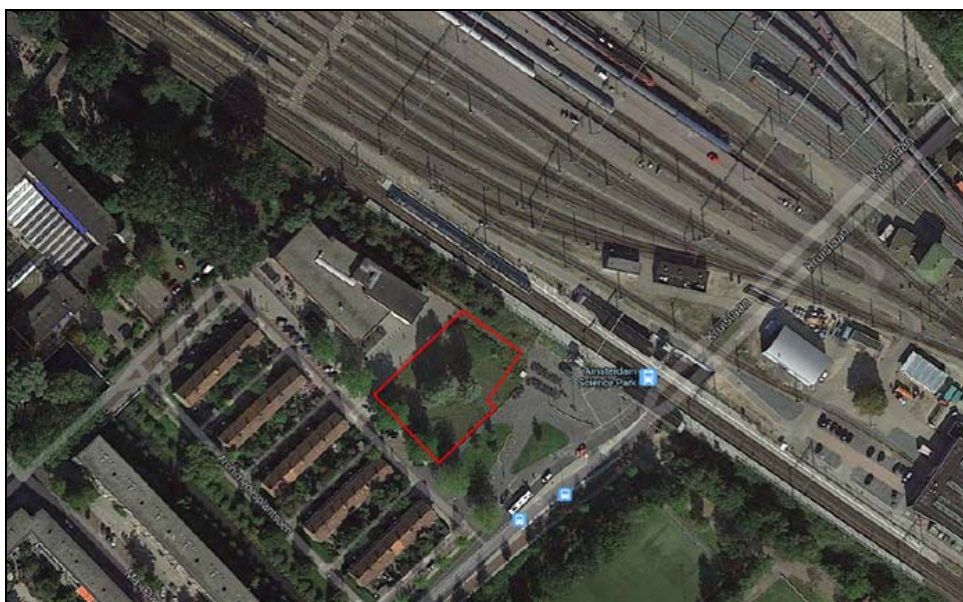
BIJLAGEN

Bijlage I	Verdeling $v_{\text{eff,max}}$ per passage
Bijlage II	Verloop trillingssterkte $v_{\text{effmax},30,i}$ over de meetduur

1 Inleiding

Ter plaatse van het Archimedesplantsoen is woningbouw geprojecteerd. Figuur 1.1 toont de situatie. Figuur 1.2 geeft een impressie van de nieuwbouw. Om deze woningbouw mogelijk te maken, is een wijziging van het bestemmingsplan nodig. Hiervoor is een ruimtelijke onderbouwing nodig waarin ook het aspect trillingen een rol speelt in verband met de ligging van het spoor (station Sciencepark) op korte afstand van de nieuwbouwlocatie en de kans op trillingshinder voor toekomstige bewoners.

Om meer inzicht te krijgen in de kans op trillingshinder is door DPA Cauberg-Huygen een trillingsonderzoek uitgevoerd.



Figuur 1.1: Situering nieuwbouwplan Archimedesplantsoen te Amsterdam nabij spoor



Figuur 1.2: Impressie nieuwbouw

Doel van het onderzoek is om te bepalen of de trillingen als gevolg van het treinverkeer kunnen leiden tot hinder voor personen in de woningen. Daartoe zijn trillingsmetingen op maaiveld uitgevoerd en is de trillingssterkte in de toekomstige woningen geprognosticeerd.

Bij de uitvoering van de trillingsmetingen en de beoordeling van de berekende trillingssterkte is gebruik gemaakt van SBR richtlijn B. Richtlijn B geeft streefwaarden voor de trillingssterkte in de woning ter voorkoming van hinder voor personen. Deze richtlijn is algemeen geaccepteerd ter beoordeling van de trillingen.

Voorliggende rapportage beschrijft de uitgangspunten van het onderzoek, de meetresultaten, de prognose en de beoordeling van de trillingen.

2 Uitgangspunten

2.1 Opzet onderzoek

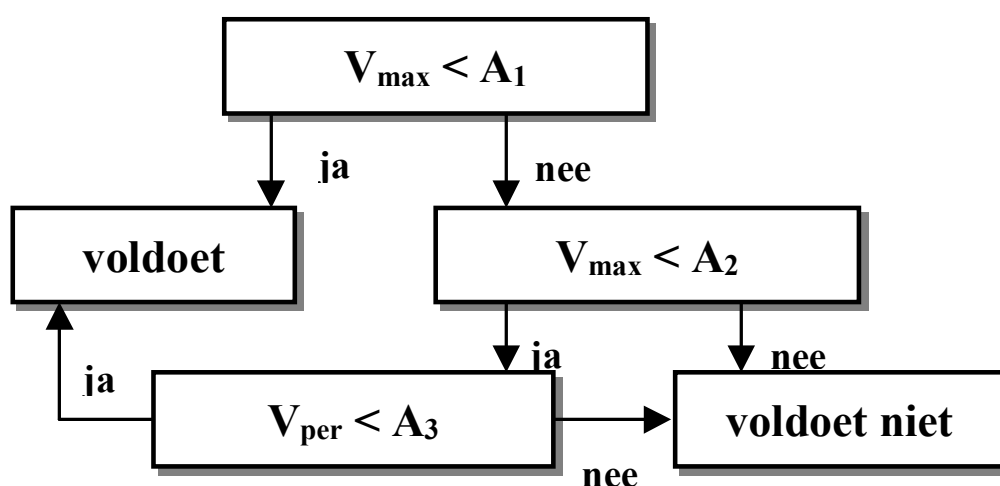
Voor de opzet van het onderzoek is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 5 december 2017. De onbemande metingen zijn aansluitend uitgevoerd van 5 december t/m 12 december voor een periode van één week. Hierdoor ontstaat inzicht in de optredende trillingsniveaus over een langere periode.

Op basis van de meetresultaten op maaiveld tijdens de bemande metingen, is de overdracht van trillingen door de bodem bepaald. De bemande metingen zijn tevens gebruikt om de meetapparatuur zo goed mogelijk in te stellen voor de onbemande metingen.

Op basis van de onbemande meting is inzicht verkregen in het verloop van de trillingsniveaus over langere periode. Op basis van deze metingen zijn de maatgevende treinpassages bepaald. Van elk van deze passages is het trillingsspectrum bepaald. Op basis van deze spectra, de gemeten overdracht van trillingen door de bodem, en een karakteristieke overdracht van trillingen van het fundament naar de toekomstige woningen, is de trillingssterkte $V_{\max}$ op de vloer van de toekomstige woningen berekend en getoetst aan de streefwaarden uit SBR B.

2.2 Toetsingskader

Voor de beoordeling van de trillingssterkte in de woning is gebruik gemaakt van SBR richtlijn B uit 2006. De beoordeling vindt plaats op basis van twee parameters namelijk $V_{\max}$ en V_{per} . De parameter $V_{\max}$ staat voor de maximale gewogen trillingssnelheid binnen een beoordelingsperiode (dag, avond en nacht). Parameter V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssnelheid over een beoordelingsperiode. $V_{\max}$ (en eventueel V_{per}) worden op basis van metingen vastgesteld en vervolgens getoetst. De toetsing vindt plaats op basis van navolgend schema.



Uit het schema volgt dat $V_{\max}$ eerst getoetst wordt aan A_1 en A_2 alvorens V_{per} wordt bepaald en getoetst aan A_3 .

De toetsingswaarden voor A_1 , A_2 en A_3 zijn afhankelijk van de functie van een bouwwerk, het type trilling, de situatie en het tijdstip waarop de trillingen voorkomen.

De functie van het bouwwerk is woning. De trillingen zijn afkomstig van railverkeer en worden daarom geclassificeerd als herhaald voorkomend. De trillingen komen zowel in de dag- (07.00-19.00 uur), avond- (19.00-23.00 uur) als in de nachtperiode (23.00-07.00 uur) voor.

De voorliggende situatie betreft een nieuwe situatie want er is sprake van nieuw te bouwen woningen. In tabel 2.1 zijn de streefwaarden voor $V_{\max}$ en V_{per} voor een nieuwe situatie conform SBR richtlijn B opgenomen.

Tabel 2.1: Streefwaarden nieuwe situatie hinder $V_{\max}$ en V_{per}

Gebouwfunctie	Dag-/avondperiode			Nachtperiode		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Woning	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Uit tabel 2.1 volgt dat de nachtperiode maatgevend is voor de beoordeling van de trillingen. De streefwaarde A₂ (de bovenste streefwaarde) is in de nacht het laagst en bedraagt 0,2.

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

Bemande metingen

De bemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd op dinsdag 5 december 2017. Ten behoeve van de metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 3x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000TR met 3x 3D trillingsopnemer (trillingssnelheid).

Onbemande metingen

De onbemande metingen hebben plaatsgevonden van dinsdag 5 december t/m dinsdag 12 december 2017. Tijdens de onbemande metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 2x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000TR met 2x 3D trillingsopnemer (trillingssnelheid).

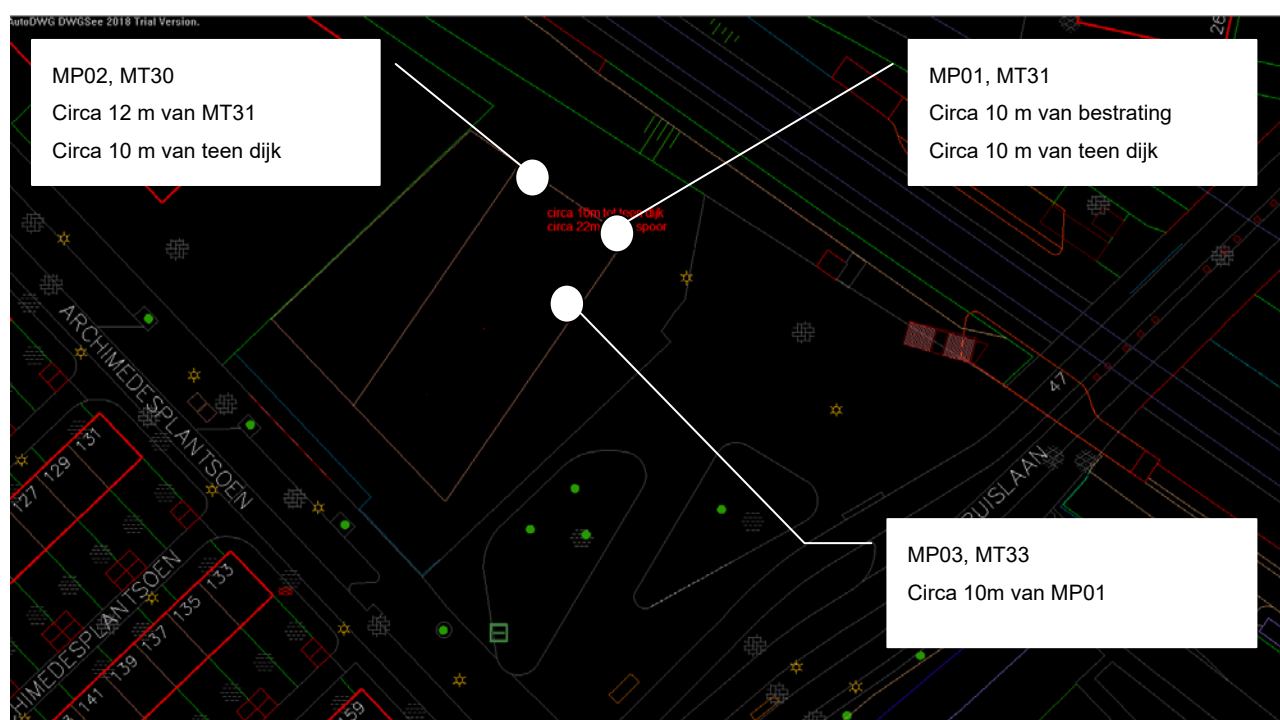
Alle trillingsmeters zijn gesynchroniseerd in tijd.

3.2 Meetposities

De bemande metingen zijn uitgevoerd op drie meetpunten en de onbemande metingen op twee meetpunten. Op ieder meetpunt is de trillingssnelheid gemeten in drie richtingen:

- Horizontaal dwars op het spoor (de X-richting).
- Horizontaal evenwijdig aan het spoor (de Y-richting).
- Verticaal (de Z-richting).

Figuur 3.1 toont de meetposities.



Figuur 3.1: Overzicht meetposities bemande (MP01 t/m 03) en onbemande (MP01 en MP02)

Het spoor is gelegen op een dijklichaam. Figuur 3.2 geeft de situatie van het spoor weer.



Figuur 3.2: Zicht op het spoor vanaf het Archimedesplantsoen

Voor de meetpunten geldt de volgende afstand tot het (dichtstbij gelegen) spoor:

- Meetpunt 01: circa 22 meter.
- Meetpunt 02: circa 22 meter.
- Meetpunt 03: circa 32 meter.

De trillingsopnemers op het maaiveld zijn in een kuil in de bodem geplaatst en waterpas gezet. Figuur 3.3 geeft een foto van meetpunt 01 en 02.



Figuur 3.3: Trillingssensor in kuil op meetpunt 01 (links) en meetpunt 02 (rechts)

3.3 Meetparameters

Elke 30 seconde is het trillingsniveau vastgelegd door middel van de parameter $v_{\text{eff,max},30,i}$. Dit is de hoogste effectieve trillingssterkte gemeten in de meterstand fast, waarbij de frequentieweging volgens de SBR richtlijn B is toegepast.

Tevens is voor alle treinpassages waarvan het trillingsniveau een vooraf ingestelde trillingssnelheid overschreed, een registratie van de trillingssnelheid in de tijd uitgevoerd (tijdsignaal). Dit tijdsignaal is gebruikt voor de prognose.

4 Meetresultaten

4.1 Bemande metingen

Op basis van herkenbare treinpassages tijdens de bemande metingen is de overdracht van trillingen in de bodem (meetpunt 01 naar meetpunt 03) bepaald.

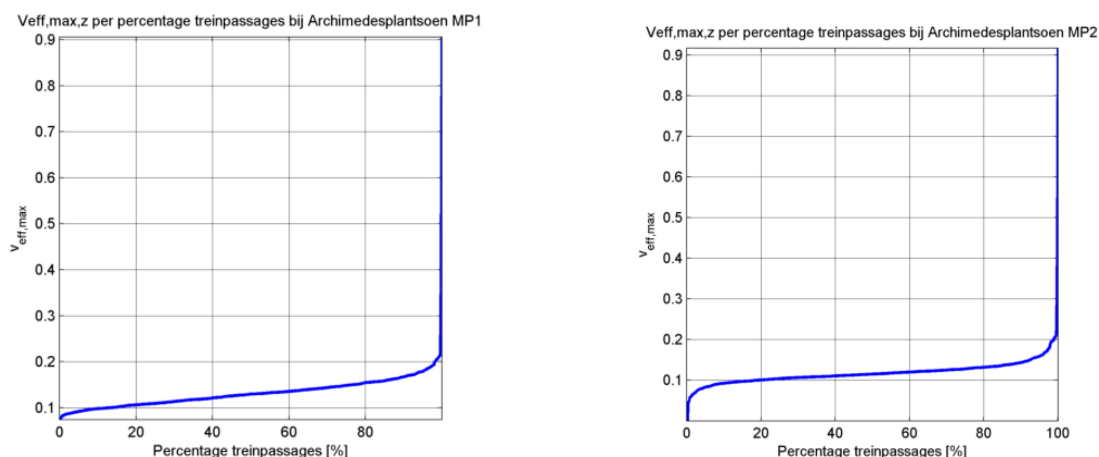
De overdracht in de bodem is berekend met behulp van de zogenaamde Barkan formule. De kenmerkende parameters daarin zijn bepaald op basis van de bemande metingen en bedragen:

$$n = 0,25$$

$$\alpha = 1,0\%$$

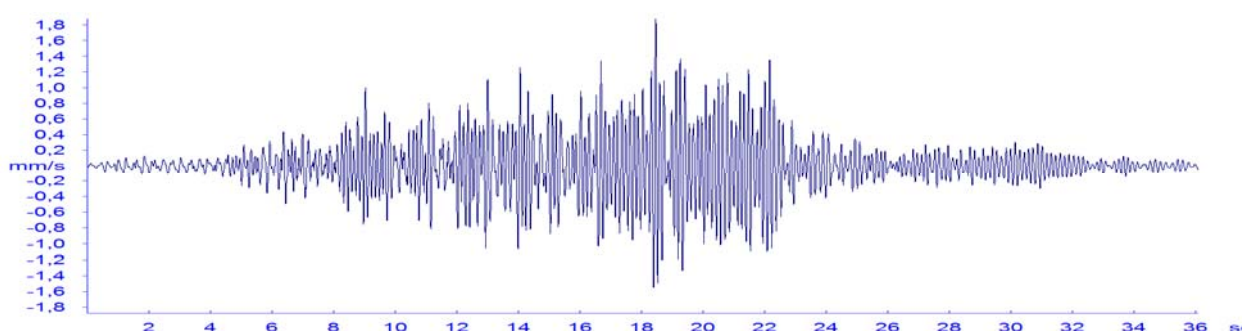
4.2 Onbemande metingen

Figuur 4.1 laat de maximale trillingssterkte $v_{\text{eff,max}}$ per treinpassage zien op punt 01 (links) en punt 02 (rechts) over de gehele meetperiode. In het totaal zijn circa 800 treinpassages gemeten. Ter illustratie is het meetresultaat voor de verticale trillingsrichting weergegeven. De andere trillingsrichtingen zijn in vergelijkbare figuren opgenomen in bijlage I. In bijlage II zijn alle metingen van $v_{\text{eff,max},30,i}$ per meetpunt weergegeven.



Figuur 4.1: Verzameling $v_{\text{eff,max}}$ waarden per treinpassage voor de verticale trillingsrichting meetpunt 01 (links) en 02 (rechts)

Figuur 4.1 toont dat de ordegrootte van de trillingssterkte op beide meetpunten gelijk is. Verder blijkt dat 99% van alle treinpassages een trillingssterkte op maaiveld veroorzaakt van maximaal 0,4. Er blijkt één treinpassage te zijn geweest die een trillingssterkte van 0,9 heeft veroorzaakt. Naar verwachting is dit een goederentrein geweest gezien het tijdstip van de passage om 02.54 uur op 7 december. Het tijdsignaal van deze passage voor meetpunt 01 is weergegeven in figuur 4.2.



Figuur 4.2: Tijdsignaal verticale trillingsrichting passage trein op 7 december om 02.54

4.3 Gebruikte gegevens voor prognose

De prognose is uitgevoerd voor de 3 treinen die de sterkste trillingen hebben veroorzaakt. Onderstaande tabel 4.1 geeft een overzicht van de betreffende treinenpassages voor meetpunt 01.

Tabel 4.1: Top drie hoogste gemeten trillingssterkte $v_{eff,max}$ op meetpunt 01

Passage	$v_{eff,max}$			Datum tijd
	X (dwars)	Y (langs)	Z (verticaal)	
1	0,345	0,348	0,902	7-12-2017 02.54
2	0,173	0,174	0,393	9-12-2017 19.52
3	0,183	0,143	0,3	10-12-2017 18.05

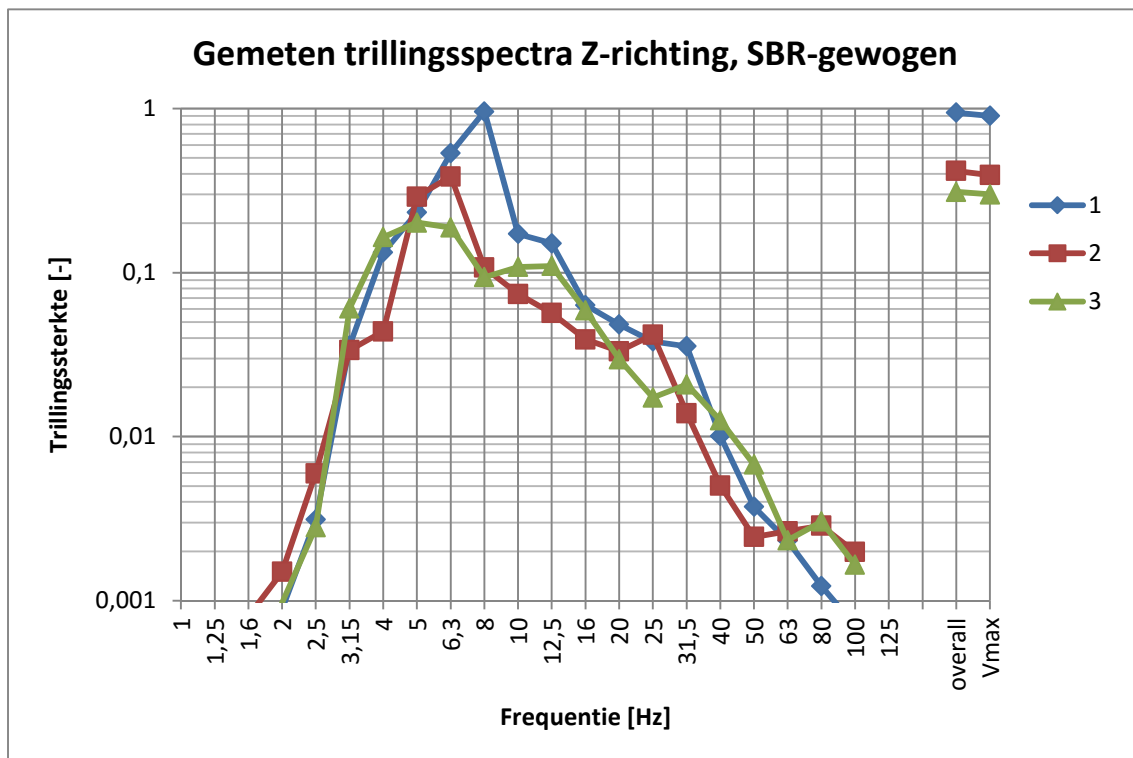
Tabel 4.2 geeft een vergelijkbaar overzicht voor meetpunt 02.

Tabel 4.2: Top drie hoogste gemeten trillingssterkte $v_{eff,max}$ op meetpunt 02

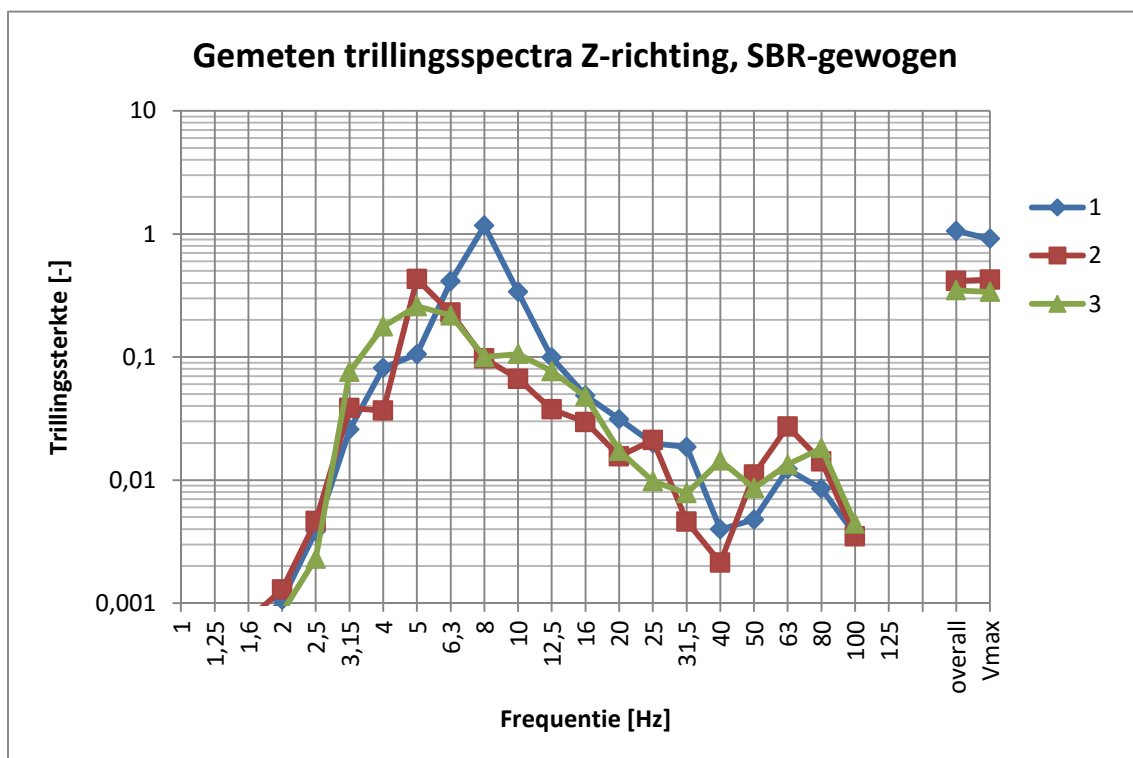
Passage	$v_{eff,max}$			Datum tijd
	X (dwars)	Y (langs)	Z (verticaal)	
1	0,577	0,329	0,913	7-12-2017 02.54
2	0,169	0,124	0,426	9-12-2017 19.52
3	0,16	0,171	0,338	10-12-2017 18.05

Uit de tabel 4.1 en 4.2 volgt dat de verticale trillingsrichting maatgevend is. Voor deze richting is voor beide meetpunten een spectrale analyse uitgevoerd in tertsbanden van de top3 passages. Gekozen is voor een peak-hold spectrum dat de maximale trillingssnelheid per tertsband bevat. Deze spectra zijn gebruikt voor de prognose.

In de figuren 4.3 en 4.4 zijn deze spectra weergegeven voor de respectievelijke meetpunten. Hieruit volgt dat veel trillingsenergie voorkomt in de lage frequenties, tussen 5 en 10 Hz met een piek in de 8 Hz tertsband.



Figuur 4.3: Trillingsspectra van de top3 treinpassages op MP01 in verticale richting



Figuur 4.4: Trillingsspectra van de top3 treinpassages op MP02 in verticale richting

5 Prognose

5.1 Werkwijze

Voor de berekening van de verticale trillingsniveaus is gebruik gemaakt van het volgende algemene rekenmodel:

$$V_{\max} = V(f)_{\text{topmaaiveld}} * H(f)_{\text{fundament}} * H(f)_{\text{vloer}} * H(f)_{\text{SBRB}} * H_{\text{bodem}}$$

Hierin is:

$V_{\max}$	de volgens SBR B gewogen maximale trillingssterkte
$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$	de gemeten trillingssnelheid op maaiveld
$H(f)_{\text{fundament}}$	de overdrachtsfactor voor de invloed van de fundering
$H(f)_{\text{vloer}}$	overdrachtsfactor voor de vloer
$H(f)_{\text{SBRB}}$	weging van de trillingssnelheid volgens SBR B
H_{bodem}	correctie verschil in afstand tussen meetpunt en prognoselocatie

Alle berekeningen zijn spectraal uitgevoerd in het frequentiebereik tussen 1 en 80 Hz in tertsbanden.

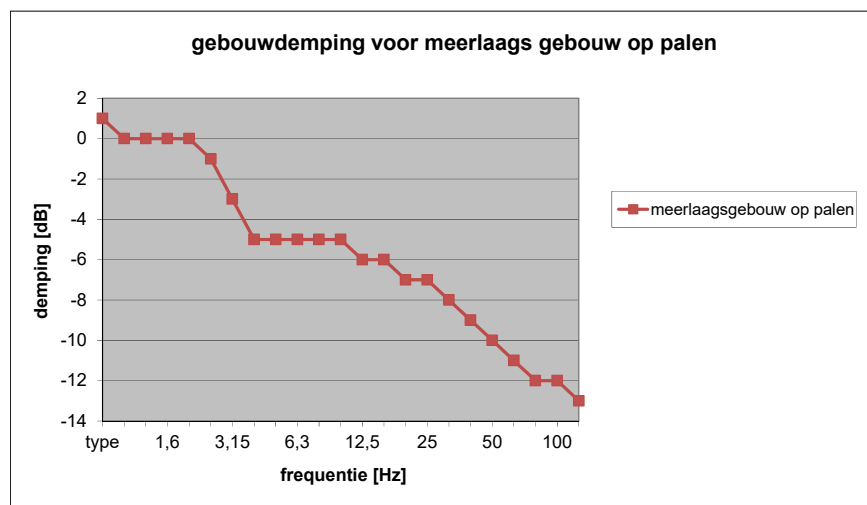
5.2 Invoergegevens

$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$

De gemeten trillingssnelheid op maaiveld is verwerkt tot een peak-hold spectrum in tertsbanden.

$H(f)_{\text{fundament}}$

Voor de fundering is uitgegaan van een meerlaags gebouw met een fundering op palen. Deze fundering zal zorgen voor een impedantiesprong in de bodem en daarmee voor een reductie van de trillingen. In de prognose is gerekend met een spectrale verzwakking conform figuur 5.1.



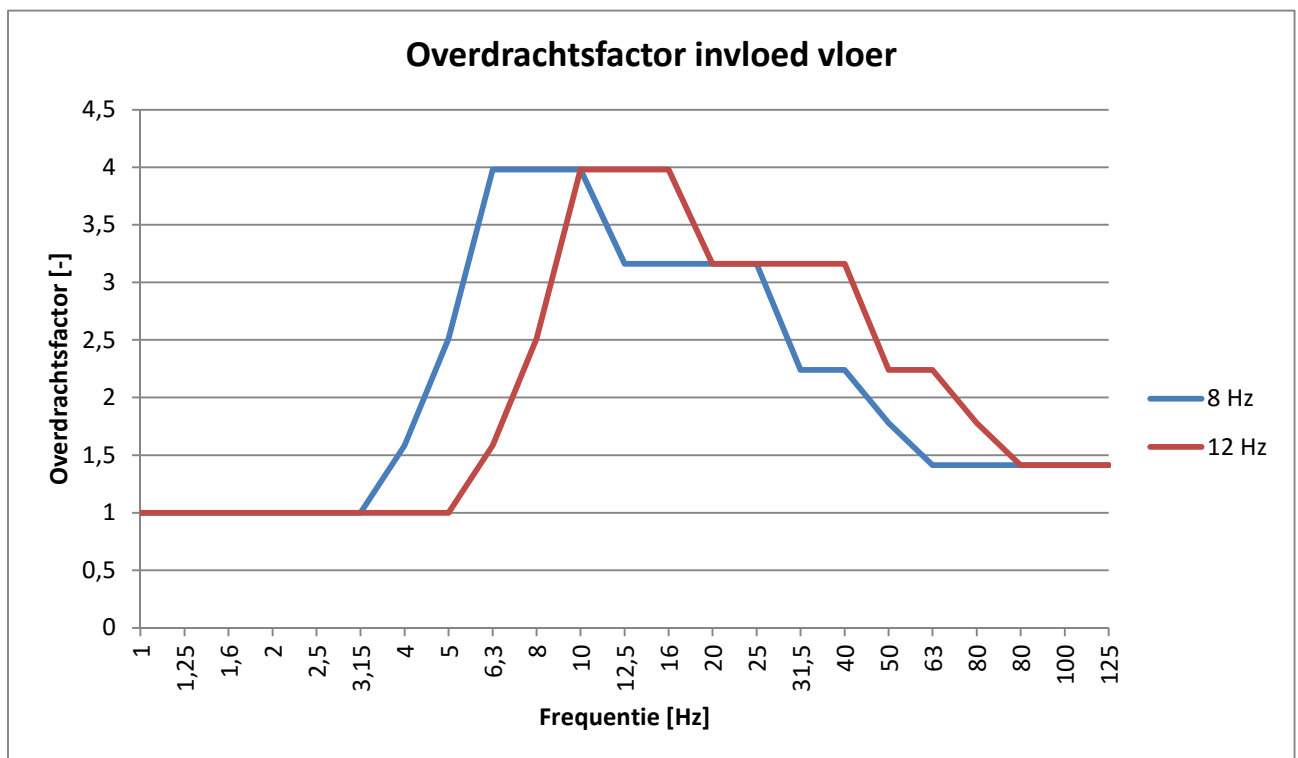
Figuur 5.1: Gebouwdemping trillingen fundering

$H(f)_{\text{vloer}}$

Trillingen worden versterkt door de vloer als deze gaat resoneren. De kans op resonantie is daarbij afhankelijk van de eigenfrequentie van de vloer. De mate van versterking is ook afhankelijk van de aanstootfrequentie ten opzichte van de eigenfrequentie. Het effect van deze versterking is dan ook spectraal in rekening gebracht.

In de huidige fase van het project zijn nog geen gebouweigenschappen en afmetingen van vloeren bekend. Daarom is een aanname gedaan. In het algemeen liggen eigenfrequenties van vloeren tussen circa 8 en 12 Hz. Voor deze twee frequenties is dan ook een prognose opgesteld van de te verwachten trillingssterkte.

Figuur 5.2 toont de overdrachtsfactor voor de vloer bij bovengenoemde eigenfrequenties. Een waarde groter dan 1 geeft aan dat de vloer voor die frequenties extra trillingen veroorzaakt als gevolg van resonantie.



Figuur 5.2: Overdrachtsfactor vloer

H_{bodem}

De H_{bodem} is gebruikt om het verschil in afstand van de prognoselocatie en de meetlocatie tot het spoor in rekening te brengen. Er wordt dan gebruik gemaakt van de formule van Barkan:

$$H_{\text{bodem}} = V_p/V_m = (r_m/r_p)^n * e^{(\alpha(r_m-r_p))}$$

Hierin is:

V_p	$V_{\max}$ op de prognose afstand tot het spoor
V_m	$V_{\max}$ op de meet afstand tot het spoor
r_m	afstand van de meetlocatie tot het spoor
r_p	afstand van de prognoselocatie tot het spoor
α	bodemdemping
n	geometrische uitbreidingscoëfficiënt

De waarde van n bedraagt 0,25 en is gebaseerd op een lijnbron. De waarde van α bedraagt 1% gebaseerd op de maaiveldmetingen (zie hoofdstuk 4.1).

Voor de prognose is uitgegaan van de 1^e lijns bebouwing op 22 m afstand tot het spoor. De metingen zijn ook uitgevoerd op 22 m van het spoor zodat H_{bodem} geen effect heeft en daarom de waarde 1 heeft.

5.3 Resultaat prognose verticale trilling

Voor de beoordeling is in eerste instantie de hoogste waarde van $V_{\max}$ van belang. Deze moet worden getoetst aan de A_2 waarde zoals is toegelicht in hoofdstuk 2.2.

Alle top3 passages zijn doorgerekend. Onderstaande tabel 5.1 laat per meetpunt de geprognosticeerde trillingssterkte $V_{\max}$ zien.

Tabel 5.1: Prognose $V_{\max}$ in verticale richting

Meetpunt	Passage	$V_{\max}$		Datum tijd
		8 Hz vloer	12 Hz vloer	
MP01	1	1,58	0,98	7-12 02:54
	2	0,58	0,28	9-12 19:52
	3	0,40	0,29	10-12 18:05
MP02	1	1,66	1,09	7-12 02:54
	2	0,51	0,25	9-12 19:52
	3	0,43	0,27	10-12 18:05

Uit de tabel is te zien dat de prognose op basis van meetpunt 01 een vergelijkbaar resultaat heeft als de prognose op basis van meetpunt 02. Dit betekent dat de verwachting is dat er geen grote verschillen in trillingssterkte op zullen treden als gevolg van verschillen in de overdracht van trillingen in de bodem of door invloed van de baan.

Duidelijk is ook dat de berekende trillingssterkte ten gevolge van de maatgevende trein (passage 1) een echte uitschieter is. In hoeverre een dergelijke passage veel voorkomt is niet bekend.

De invloed van de eigenfrequentie van de vloer is eveneens goed zichtbaar. Als de eigenfrequentie van de vloer rond de 8 Hz ligt, dan komen aanstootfrequentie van de trillingen vanuit de bodem en de eigenfrequentie van de vloer met elkaar overeen met een hoge trillingssterkte tot gevolg. Bij een eigenfrequentie van 12 Hz neemt de waarde voor $V_{\max}$ af doordat minder resonantie van de vloer optreedt omdat er minder aanstoting plaatsvindt vanuit de bodem. Een hogere eigenfrequentie van de vloer is gunstig voor de trillingssterkte $V_{\max}$ in de woning.

5.4 Beoordeling verticale trillingssterkte

Als eerste is getoetst aan de bovenste streefwaarde A_2 voor $V_{\max}$. Als deze waarde wordt overschreden, is een verdere beoordeling niet nodig want dan wordt al niet voldaan aan de toetsingswaarden uit SBR richtlijn B. A_2 bedraagt 0,4 voor de dagperiode en 0,2 voor de nachtperiode.

Als de eigenfrequentie van de vloer 8 Hz bedraagt en de top3 treinen zouden in de nachtperiode hebben gereden, dan zouden alle passages de streefwaarde A_2 overschrijden met minimaal een factor 2. In vergelijking met de toetsingswaarde voor de dagperiode, overschrijdt alleen de top2 treinen de streefwaarde A_2 .

Bij een eigenfrequentie van 12 Hz neemt de mate van overschrijding af maar overschrijden nog steeds alle treinen uit de top3 de A_2 waarde. Voor de dagperiode resteert alleen de eenmalige overschrijding door de trein met de hoogste trillingssterkte.

De overschrijdingen geven aan dat de kans op trillingshinder als gevolg van treinpassages met name in de nachtperiode relatief groot is. De overschrijding betekent ook dat bij de verdere ontwikkeling van het bouwplan en het ontwerp van de gebouwen rekening moet worden gehouden met trillingsreducerende maatregelen. Zonder deze maatregelen bestaat er een kans op trillingshinder na realisatie van de gebouwen.

5.5 Beschouwing

De berekende trillingsniveaus uit tabel 5.1 overschrijden de streefwaarde A_2 uit SBR richtlijn B. De hoogte van de trillingsniveaus zorgt ervoor dat de trillingen goed voelbaar zijn en ontwakingsreacties niet zijn uit te sluiten. De hoge trillingsniveaus ontstaan als de eigenfrequenties van de vloeren min of meer samenvallen met de maatgevende frequenties van de trein. De trillingssterkte van de vloer neemt daardoor toe ten opzichte van de trillingssterkte op maaiveld.

Iedere prognose heeft een bepaalde mate van onzekerheid. In voorliggende prognose is uitgegaan van een worst-case benadering waarbij een relatief ongunstige eigenfrequentie van de vloer is gekozen en gezocht is naar de treinen die veel trillingen bij deze frequentie veroorzaken. Dit past bij een beoordeling die is gebaseerd op de maximale trillingssterkte ($V_{\max}$).

De onzekerheid is in de huidige fase van het project relatief groot omdat de bouwkundige constructie van de gebouwen nog niet bekend is. Door bij het ontwerp van het gebouw al rekening te houden met de trillingen, kan een constructie worden gekozen die meer weerstand biedt tegen de trillingen. Dit kan bijvoorbeeld door bij het ontwerp van de vloeren rekening te houden met de eigenfrequenties van de vloer en te zorgen dat deze frequentie bij 20 Hz of hoger komt te liggen. Op basis van de gemeten treinpassages zal $V_{\max}$ dan rond de 0,2 bedragen. Aanvullend onderzoek is nodig om het effect van trillingsreducerende maatregelen te bepalen.

Een tweede onzekerheid vormt de bron. De prognose is uitgevoerd op basis van een meetperiode van één week. Dat geeft in de huidige fase van de ontwikkeling van het bouwplan al een goed inzicht in de orde grootte van de trillingen door de treinen. Als een langere periode wordt gemeten dan passeren meer treinen en neemt de kans op een nog hogere trillingssterkte toe. Niet iedere treinpassage zal echter tot de berekende hoge waarden voor $V_{\max}$ leiden. Veel treinpassages zullen tot een lagere waarde voor $V_{\max}$ leiden. Op basis van de gemeten treinpassages is de verwachting dat bij een eigenfrequentie van de vloer van 8 Hz circa 60% van de treinpassages zal leiden tot een $V_{\max}$ groter dan 0,2. Bij een eigenfrequentie van circa 20 Hz is de verwachting dat minder dan 5% van de treinpassages zal leiden tot een overschrijding van A_2 . Het is dus van belang dat het ontwerp voorziet in een relatief hoge eigenfrequentie van de vloer.

Voor de horizontale richting is geen prognose opgesteld omdat deze trillingsrichting over het algemeen niet relevant is. Toch kunnen deze horizontale trillingen een risico vormen bij hoogbouw als de aanstoting van het gebouw in deze richting plaatsvindt met dezelfde frequentie als de eigenfrequenties van het gebouw. Voorkomen moet worden dat deze samenvallen met, of in de buurt liggen van de dominante aanstootfrequenties tussen 4 en 10 Hz.

6 Conclusie en advies

6.1 Conclusies

Het trillingsonderzoek voor het nieuwbouwplan ter plaatse van het Archimedesplantsoen te Amsterdam leidt tot de volgende conclusies:

1. De trillingssterkte $V_{\max}$ als gevolg van de trein met de hoogste trillingssterkte (op basis van één week metingen) overschrijdt de streefwaarde A_2 in zowel de dag- als de nachtperiode.
2. De mate van overschrijding is sterk afhankelijk van de eigenfrequentie van de vloer. Een eigen-frequentie van 8 Hz komt overeen met de aanstootfrequentie door de treinen en leidt tot de hoogste trillingssterkten. In dat geval zorgt circa 60% van de treinpassages voor een overschrijding van A_2 in de nachtperiode.
3. Bij een eigenfrequentie van circa 20 Hz is de verwachting dat minder dan 5% van de treinpassages zal leiden tot een overschrijding van A_2 .
4. Bij de verdere ontwikkeling van het bouwplan dient rekening te worden gehouden met trillingsreducerende maatregelen en aanvullend onderzoek naar de aard en de omvang van deze maatregelen.

6.2 Advies

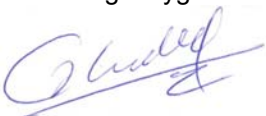
Als bij de ontwikkeling van het bouwplan geen rekening wordt gehouden met de aanwezige trillingsniveaus, dan is de kans groot dat na realisatie van het bouwplan hinder in de woningen door treintrillingen ontstaat. Het advies is dan ook om in het bestemmingsplan een bepaling op te nemen dat aanvullend trillingsonderzoek nodig is.

Dit onderzoek kan bijvoorbeeld betrekking hebben op de volgende maatregelen:

- *De vloeren in het gebouw:* door de eigenfrequentie omhoog te brengen, neemt de overdrachtsfactor voor de belangrijke frequenties tussen 5 en 10 Hz af en daarmee ook de trillingssterkte van de vloer.
- *De fundering:* door de fundering van het gebouw te verzwaren en te verstijven, vindt een reductie van de trillingssterkte plaats.
- *De fundering:* door tussen de paalkoppen en de funderingsbalken een trillingsisolator te plaatsen, wordt het gebouw ontkoppeld van de bodem waardoor minder trillingsenergie wordt overgedragen op de woningen.
- *De hoofddraagstructuur van het gebouw:* Aanbevolen wordt de horizontale stijfheid van de hoofddraagstructuur zodanig te ontwerpen dat horizontale eigenfrequenties in het gebouw niet samenvallen met, of in de buurt liggen van dominante aanstootfrequenties tussen 4 en 10 Hz.

Bovenstaande maatregelen hebben niet alleen positieve effecten (reductie van trillingen) maar kunnen ook negatieve effecten hebben (toename van trillingssterkte). Daarom is het aan te bevelen om in geval van maatregelenonderzoek een gedetailleerder rekenmodel op te laten stellen door middel van een Eindige Elementen Methode model. Daarmee kan het effect van een maatregel, of een combinatie van maatregelen worden bepaald.

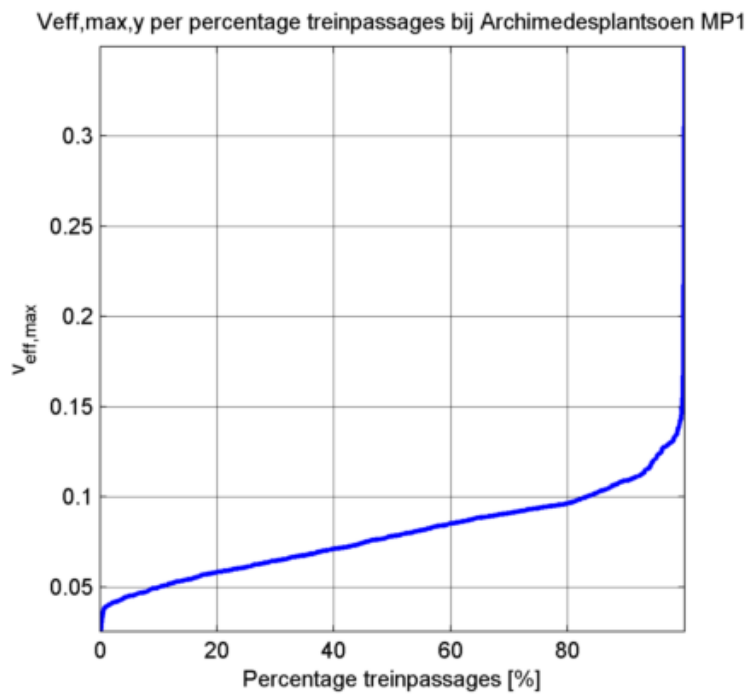
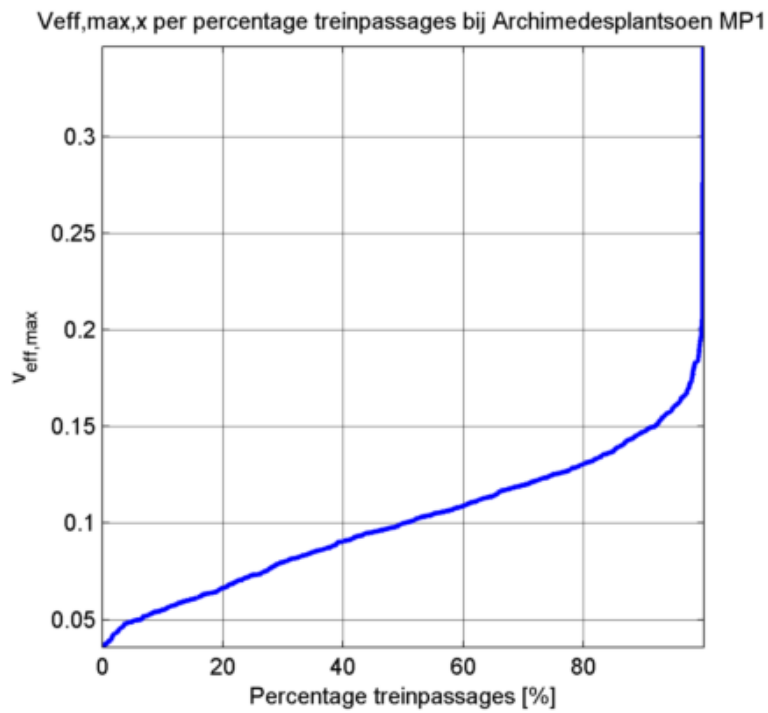
DPA Cauberg-Huygen B.V.



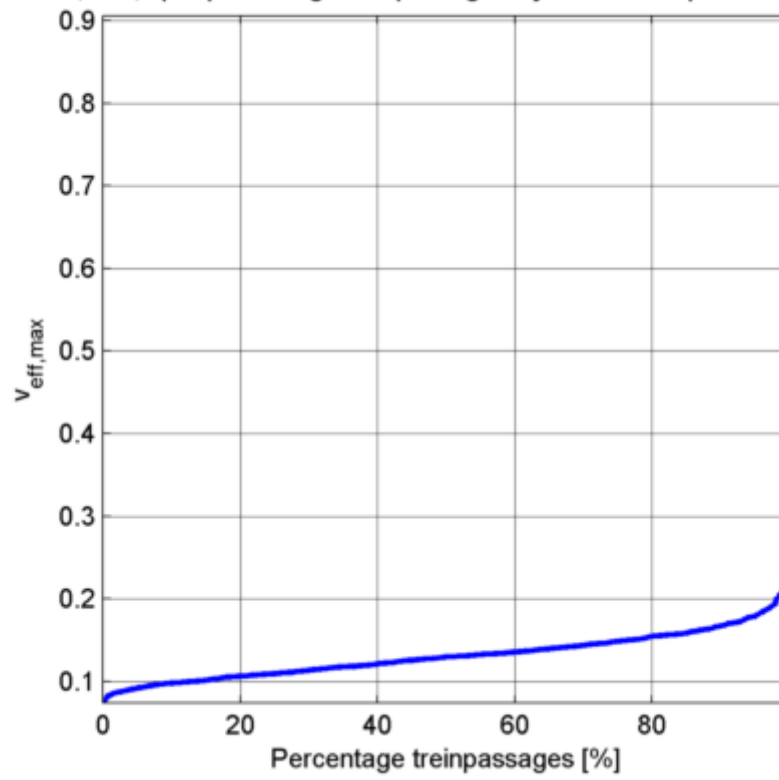
C.J. Ostendorf
Senior Adviseur

Bijlage I Verdeling $v_{\text{eff,max}}$ per passage

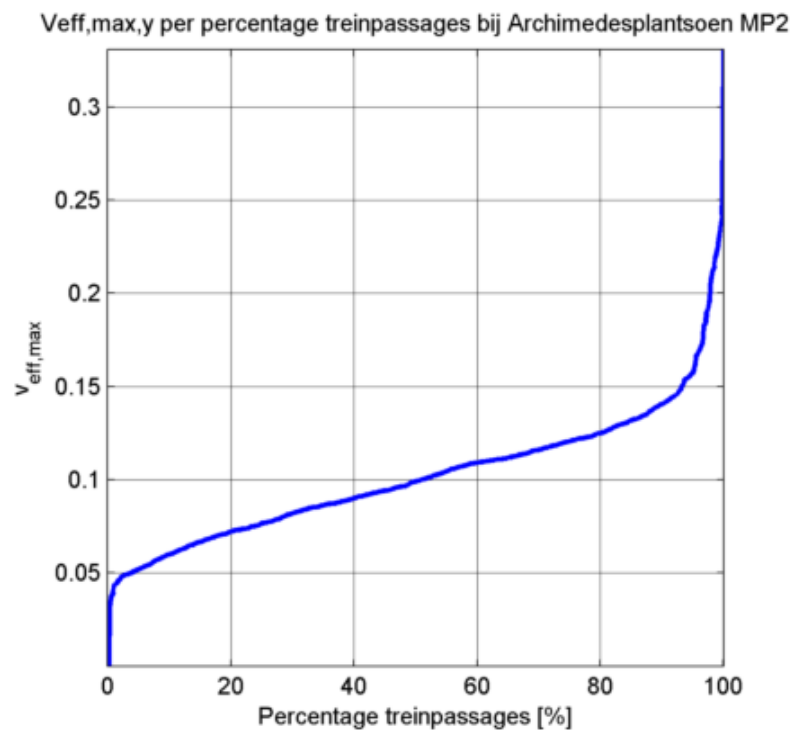
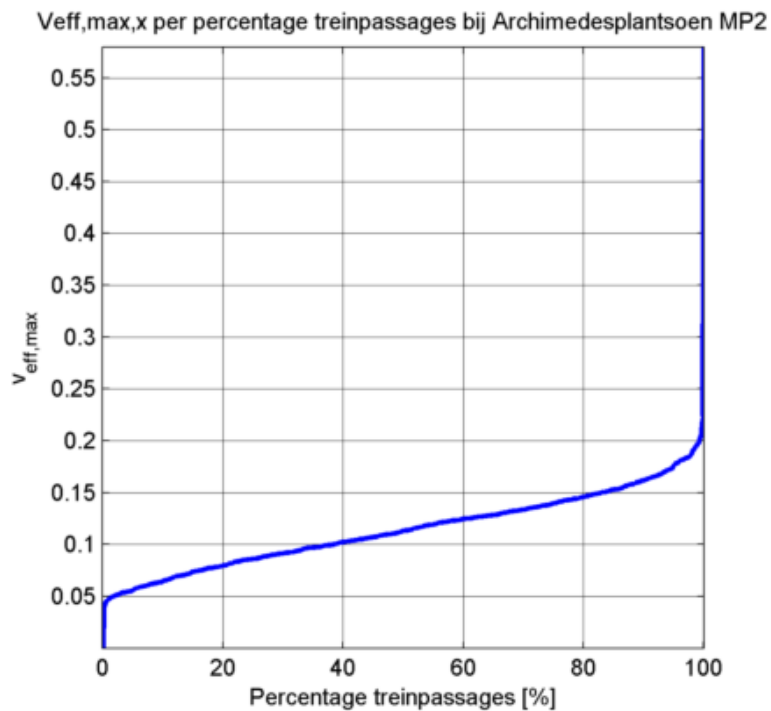
Verdeling $v_{\text{eff,max}}$ per treinpassage meetpunt 1



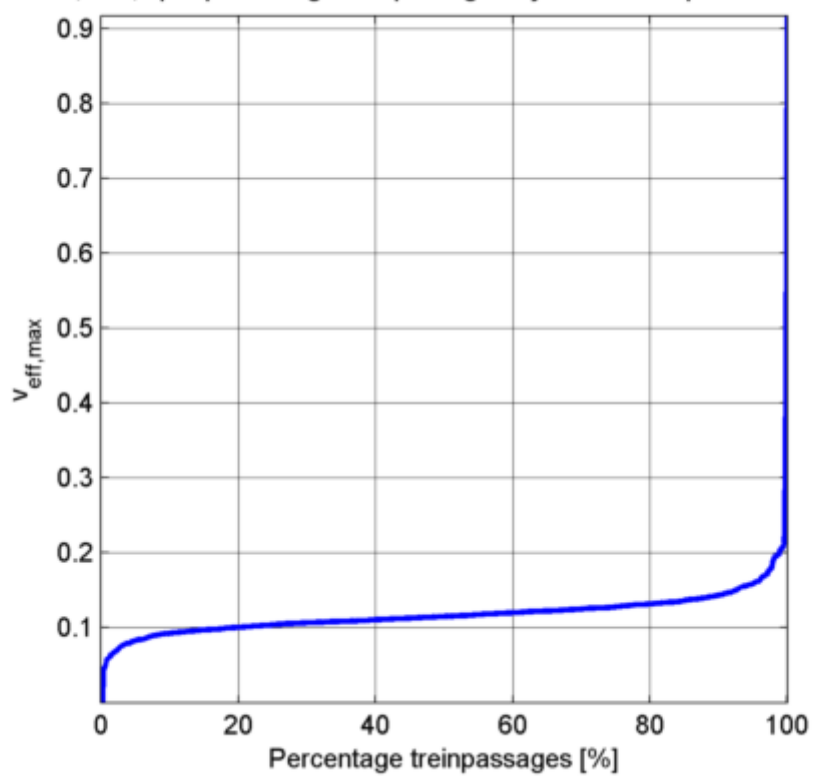
V_{eff,max,z} per percentage treinpassages bij Archimedesplantsoen MP1



Verdeling $v_{\text{eff,max}}$ per treinpassage voor meetpunt 2



V_{eff,max,z} per percentage treinpassages bij Archimedesplantsoen MP2



Bijlage II Verloop trillingssterkte $v_{\text{effmax},30,i}$ over de meetduur

MR2002 - Vibration Data Evaluation

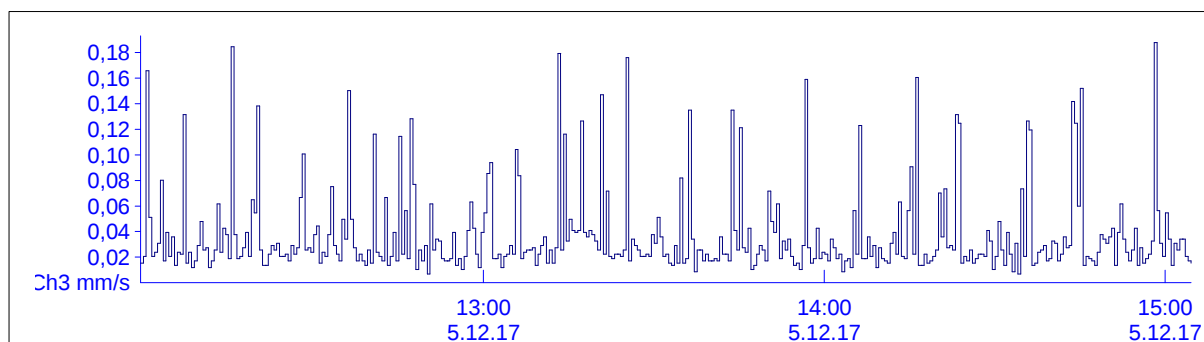
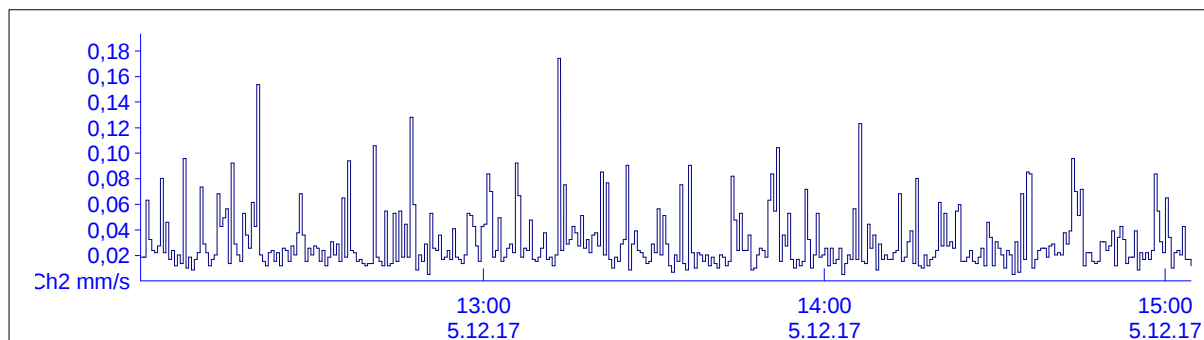
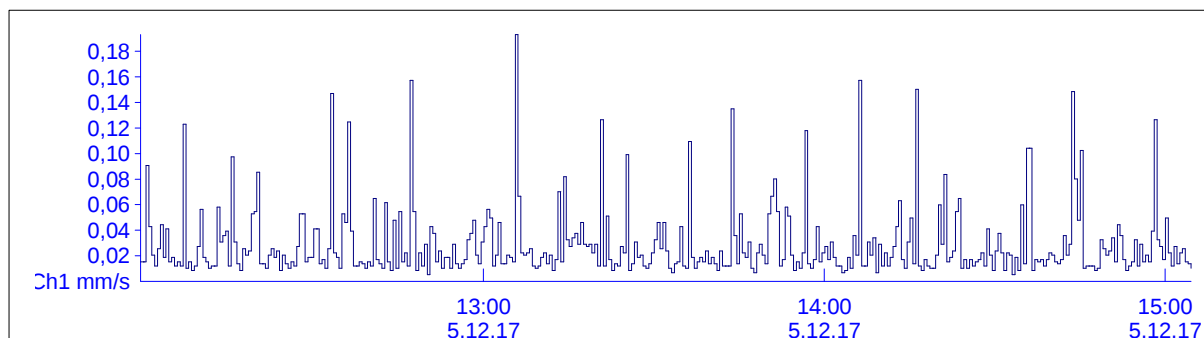


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17339001.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT31_MP1_10m_rechts-16280004

Start: 5.12.17 11:59
End: 5.12.17 15:04
Interval: 30 s

Max (1): 0,193 mm/s
Max (2): 0,174 mm/s
Max (3): 0,188 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 01 op 5 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

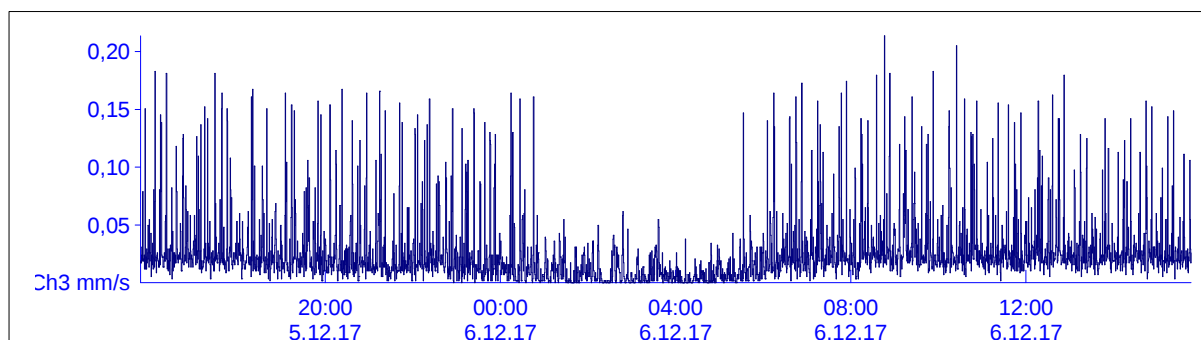
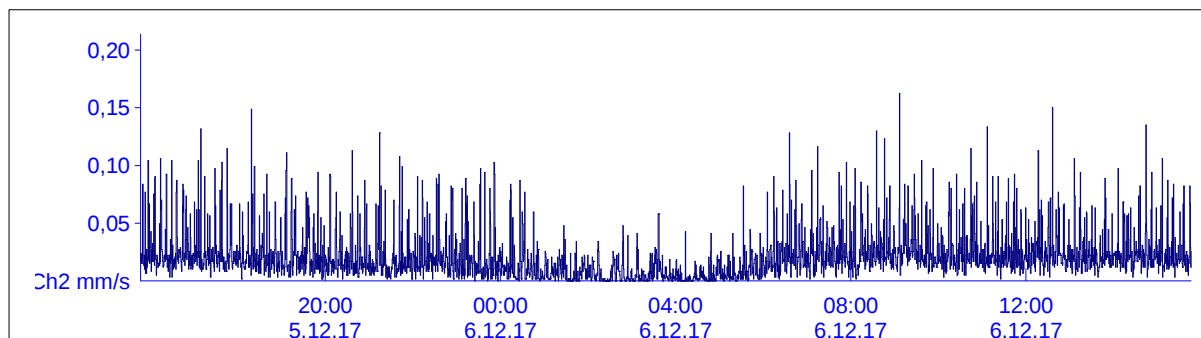
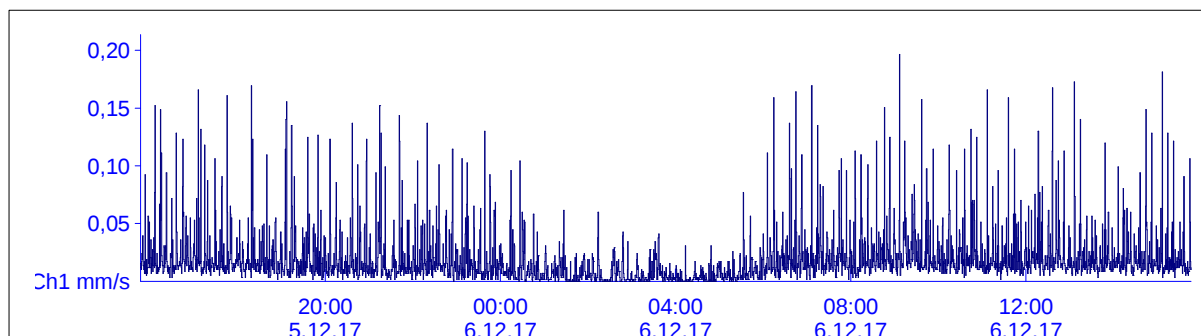


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17339002.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT31_MP1_10m_rechts-16280004

Start: 5.12.17 15:46
End: 6.12.17 15:46
Interval: 30 s

Max (1): 0,197 mm/s
Max (2): 0,162 mm/s
Max (3): 0,214 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 01 van 5 december tot 6 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

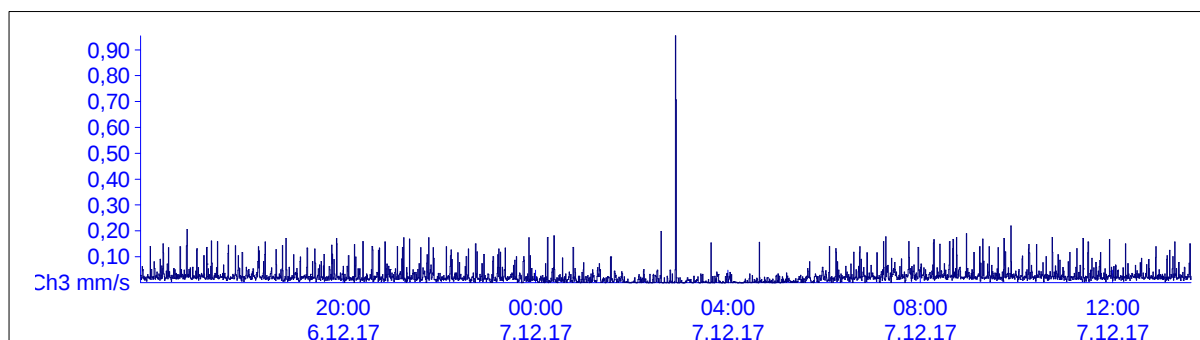
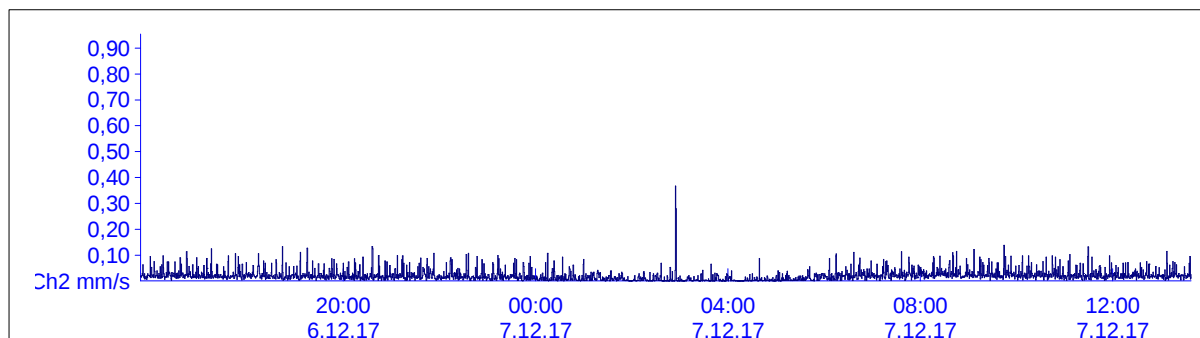
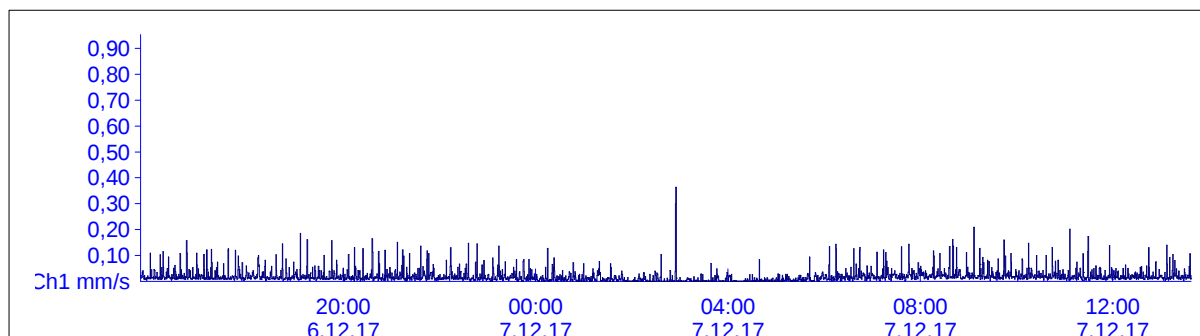
MR2002 - Vibration Data Evaluation



File Name: ...)\background\17340003.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT31_MP1_10m_rechts-16280004

Start: 6.12.17 15:46
End: 7.12.17 13:37
Interval: 30 s

Max (1): 0,364 mm/s
Max (2): 0,367 mm/s
Max (3): 0,954 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 01 van 6 december tot 7 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

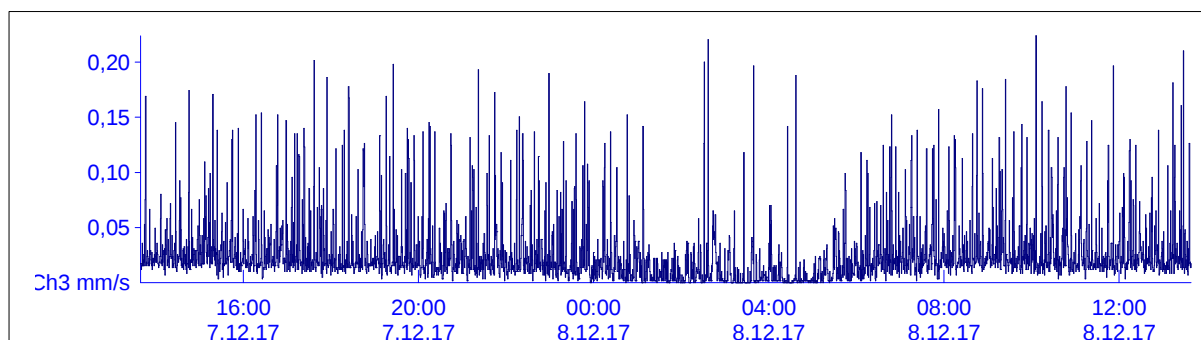
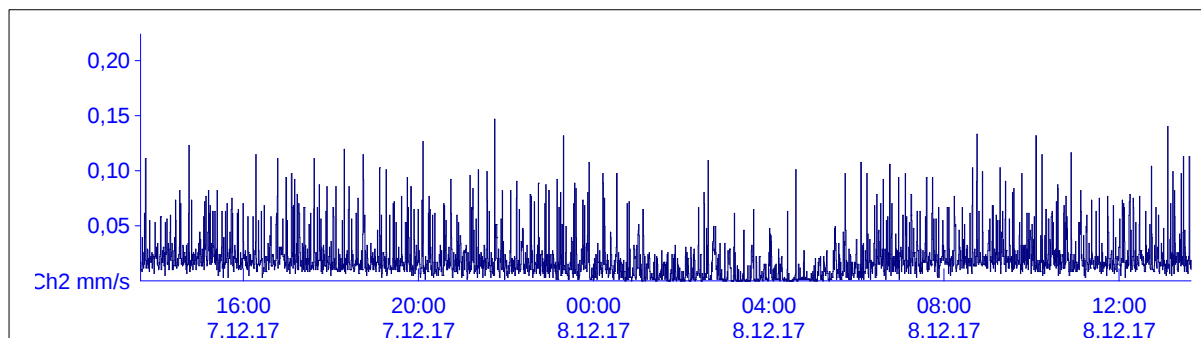
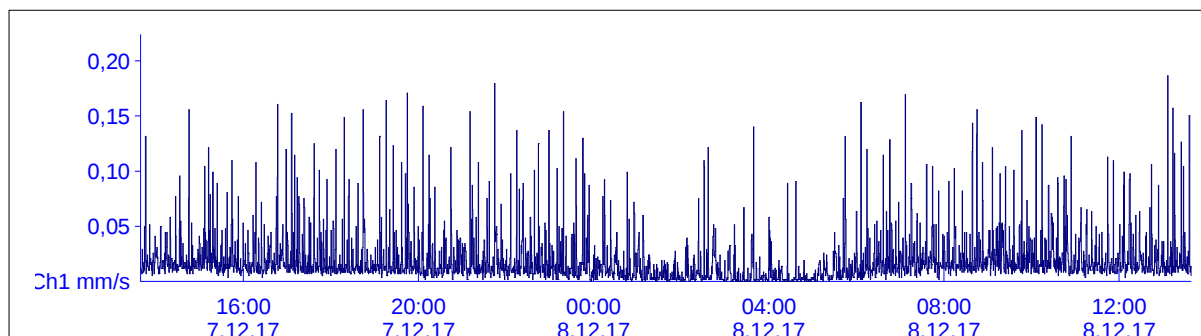
MR2002 - Vibration Data Evaluation



File Name: ...)\background\17341004.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT31_MP1_10m_rechts-16280004

Start: 7.12.17 13:39
End: 8.12.17 13:38
Interval: 30 s

Max (1): 0,186 mm/s
Max (2): 0,147 mm/s
Max (3): 0,224 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 01 van 7 december tot 8 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

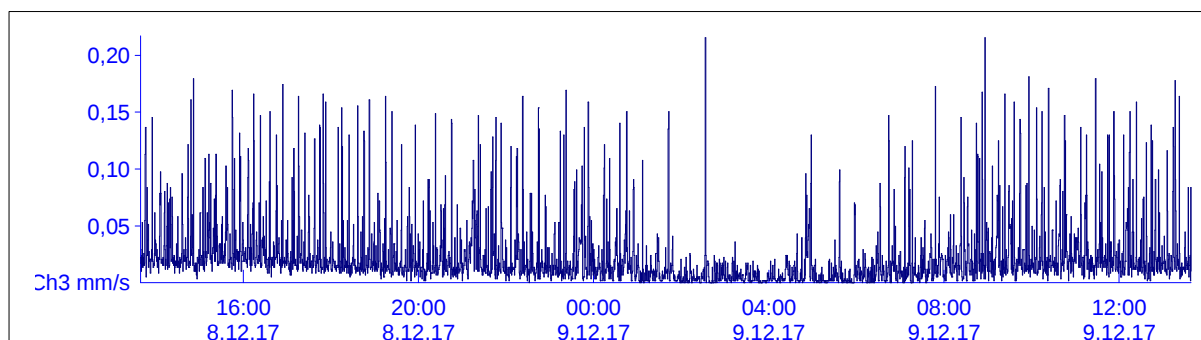
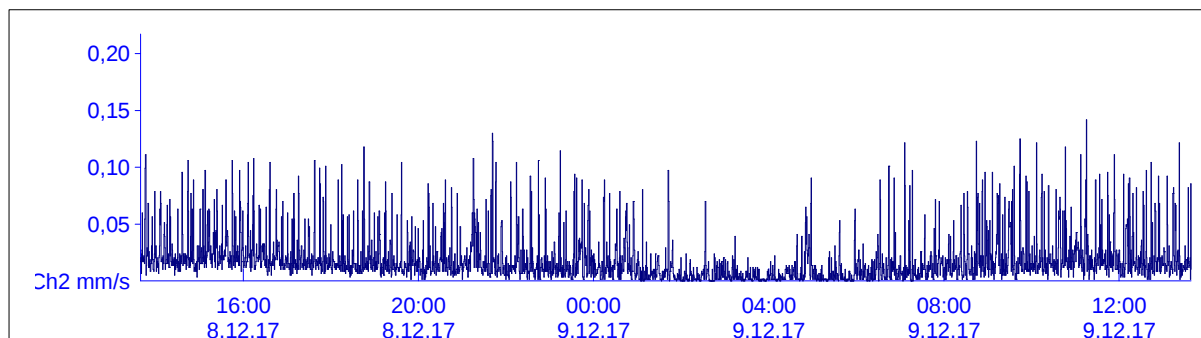
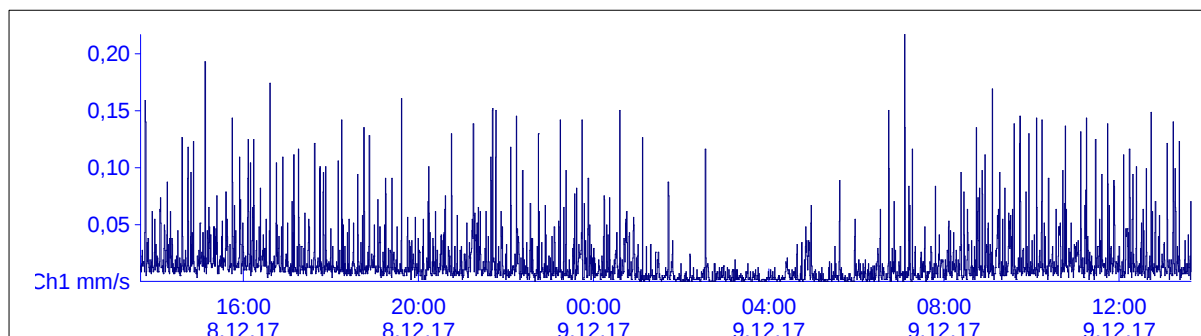


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17342005.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT31_MP1_10m_rechts-16280004

Start: 8.12.17 13:39
End: 9.12.17 13:38
Interval: 30 s

Max (1): 0,217 mm/s
Max (2): 0,142 mm/s
Max (3): 0,215 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 01 van 8 december tot 9 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

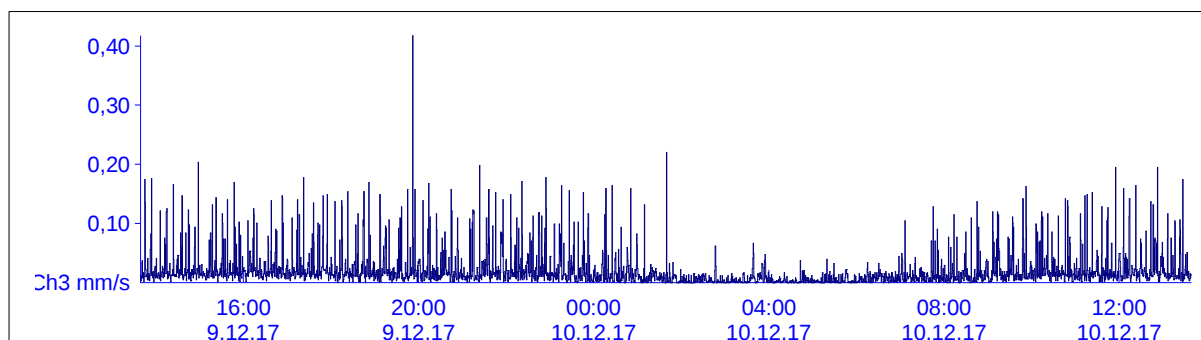
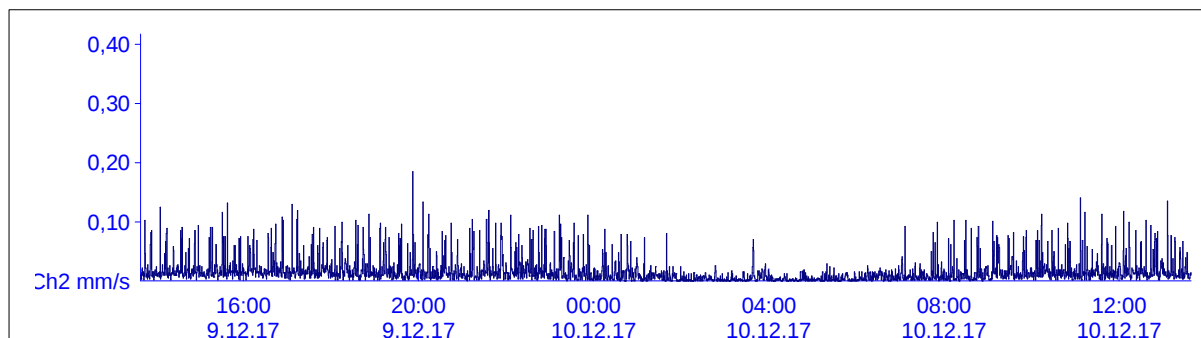
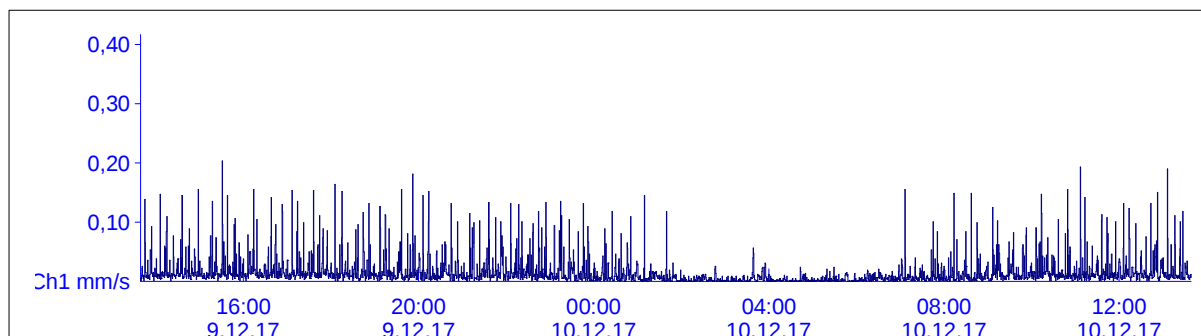


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17343006.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT31_MP1_10m_rechts-16280004

Start: 9.12.17 13:39
End: 10.12.17 13:38
Interval: 30 s

Max (1): 0,203 mm/s
Max (2): 0,185 mm/s
Max (3): 0,417 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 01 van 9 december tot 10 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

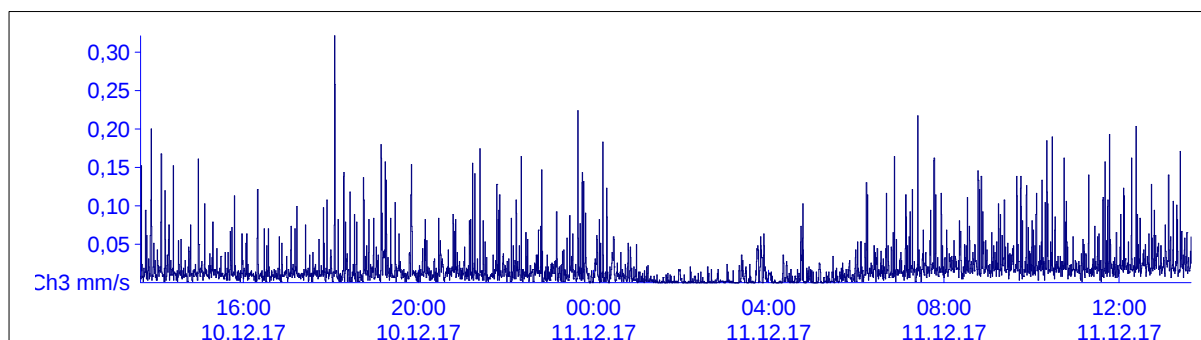
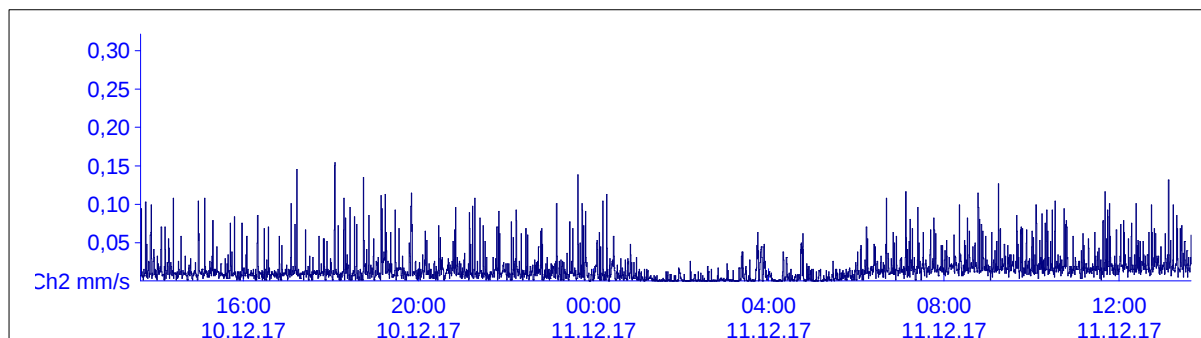
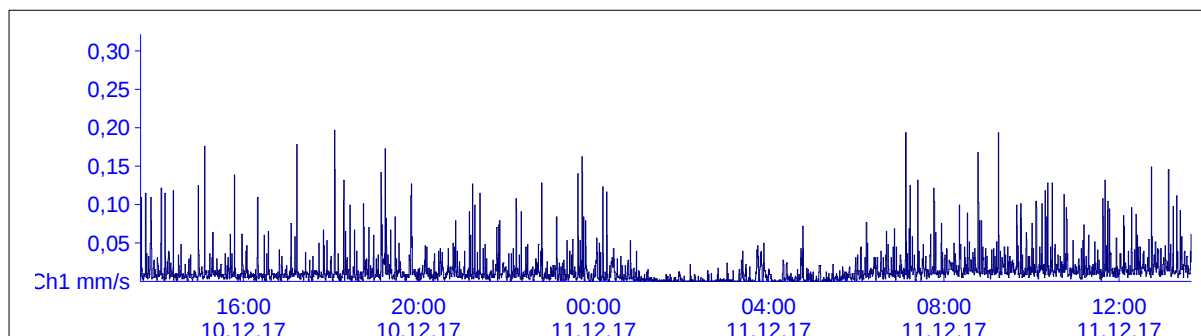


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17344007.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT31_MP1_10m_rechts-16280004

Start: 10.12.17 13:39
End: 11.12.17 13:38
Interval: 30 s

Max (1): 0,197 mm/s
Max (2): 0,154 mm/s
Max (3): 0,321 mm/s



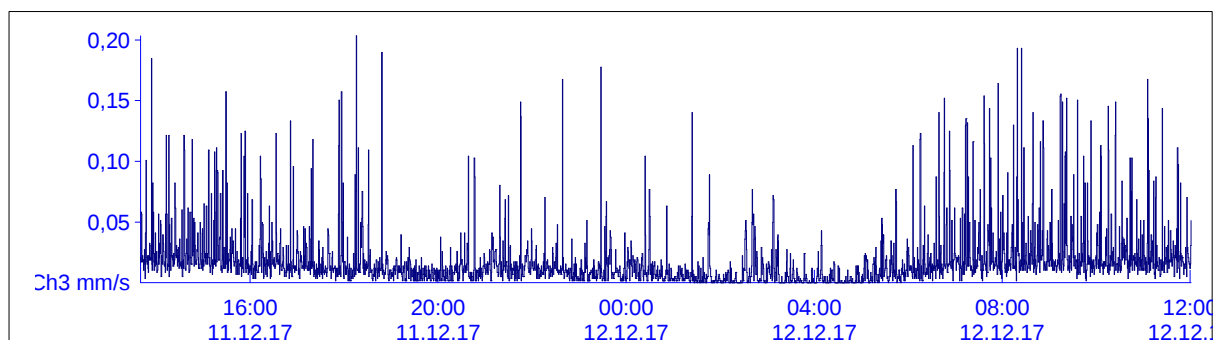
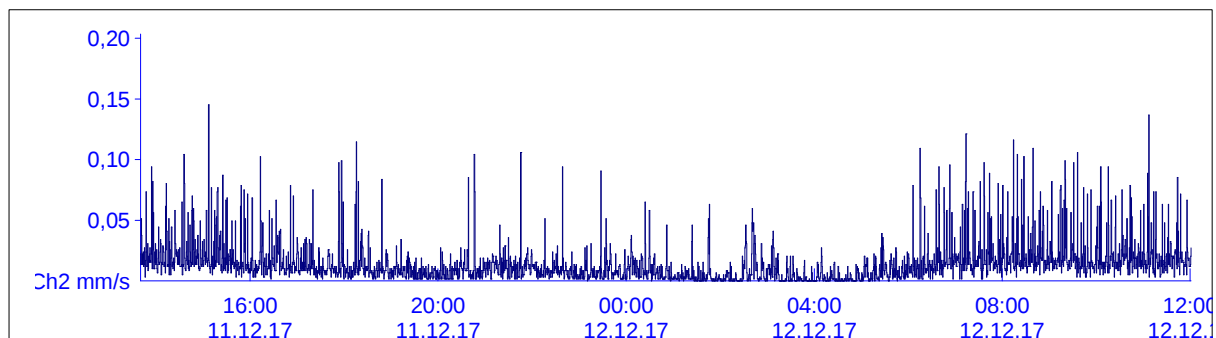
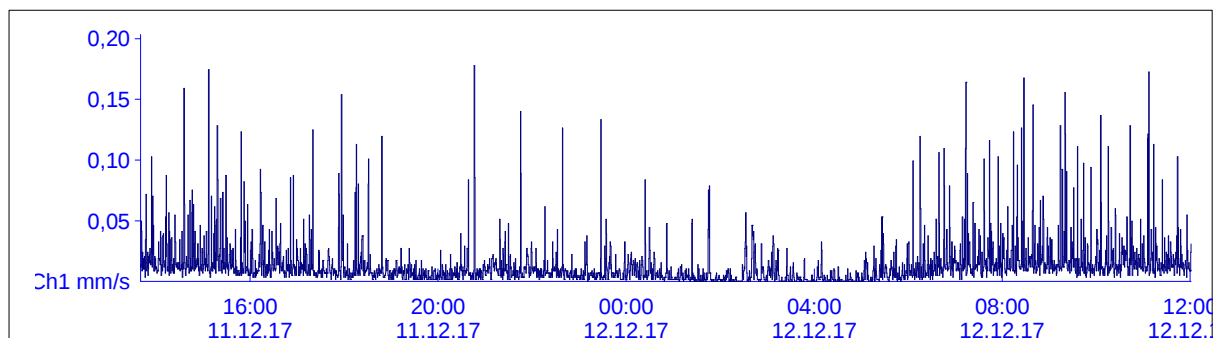
Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 01 van 10 december tot 11 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation



File Name:	...\background\17345008.BMR	Start:	11.12.17 13:40	Max (1):	0,178 mm/s
MR-Name:	XMR2002	End:	12.12.17 12:01	Max (2):	0,145 mm/s
Station:	MT31_MP1_10m_rechts-16280004	Interval:	30 s	Max (3):	0,203 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 01 van 11 op 12 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

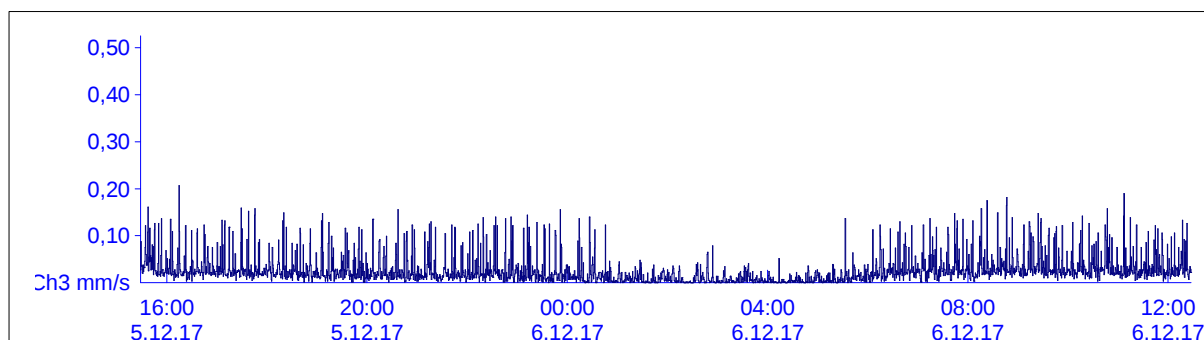
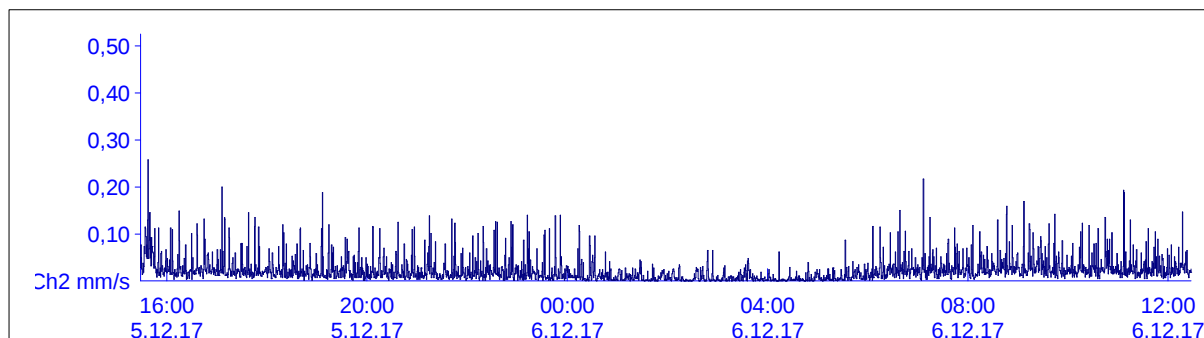
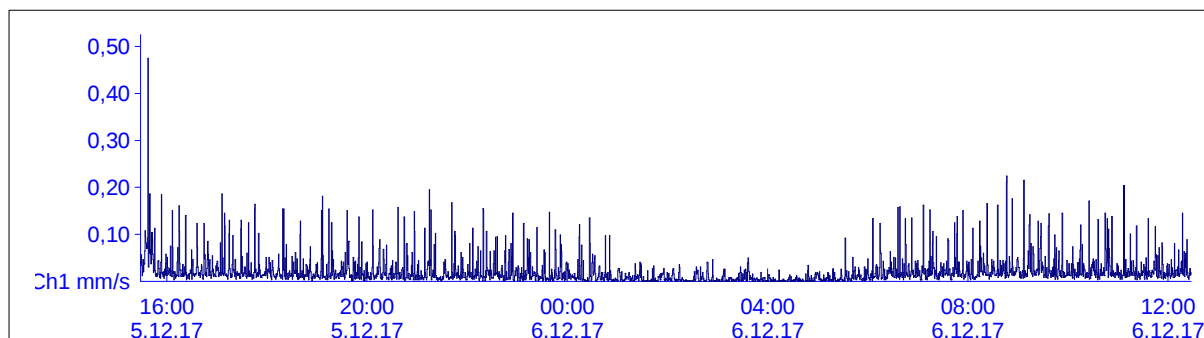
MR2002 - Vibration Data Evaluation



File Name: ...)\background\17339001.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT30_10mdijk_school-16280005

Start: 5.12.17 15:28
End: 6.12.17 12:27
Interval: 30 s

Max (1): 4,91 mm/s
Max (2): 8,48 mm/s
Max (3): 7,83 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 02 van 5 op 6 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horinzontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

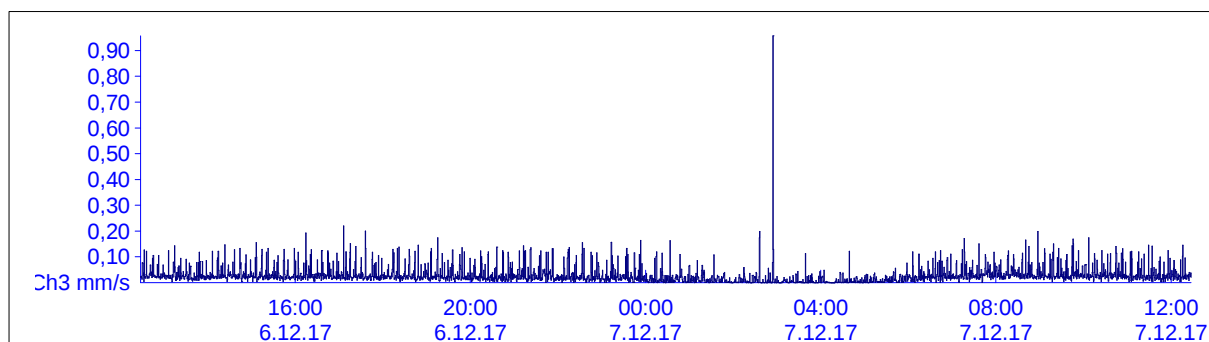
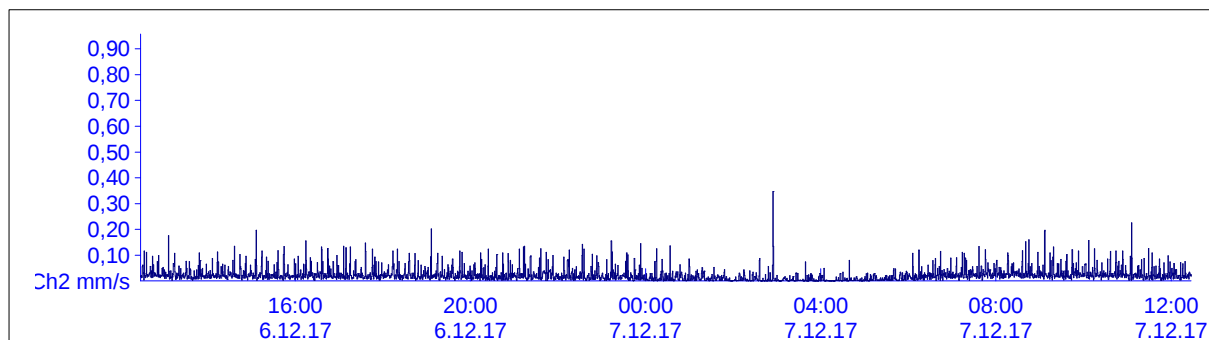
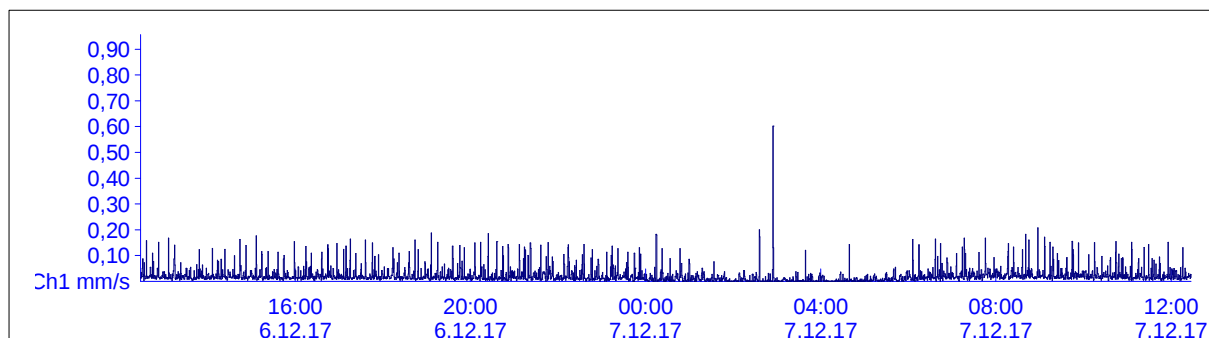


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17340002.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT30_10mdijk_school-16280005

Start: 6.12.17 12:27
End: 7.12.17 12:27
Interval: 30 s

Max (1): 0,601 mm/s
Max (2): 0,347 mm/s
Max (3): 0,957 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 02 van 6 op 7 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

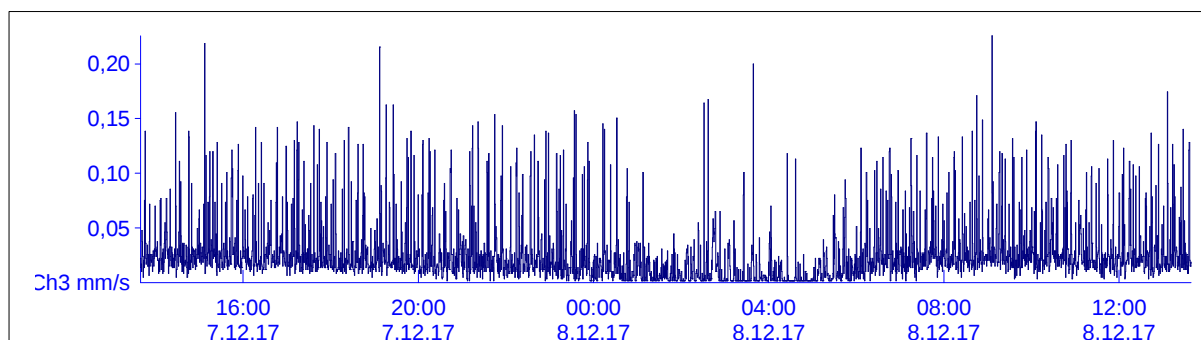
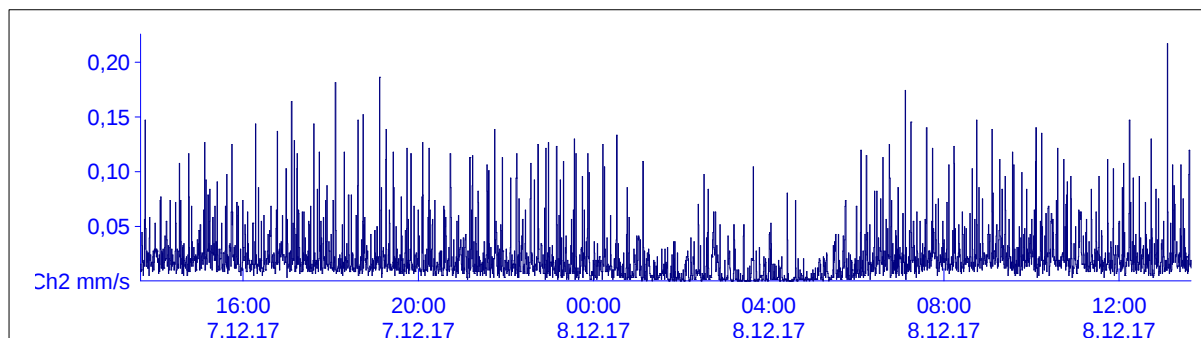
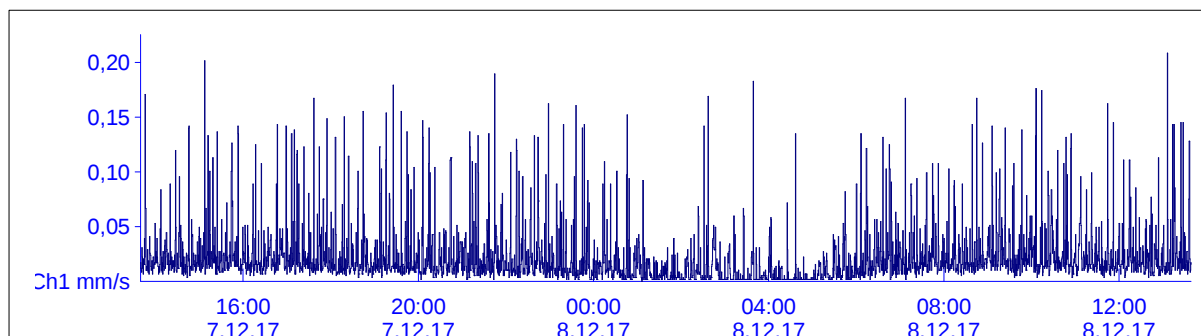


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17341004.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT30_10mdijk_school-16280005

Start: 7.12.17 13:39
End: 8.12.17 13:38
Interval: 30 s

Max (1): 0,208 mm/s
Max (2): 0,217 mm/s
Max (3): 0,226 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 02 van 7 op 8 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

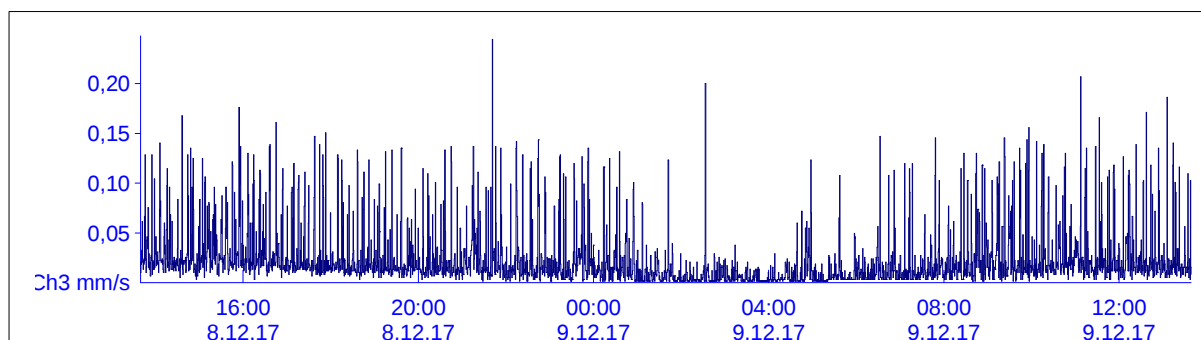
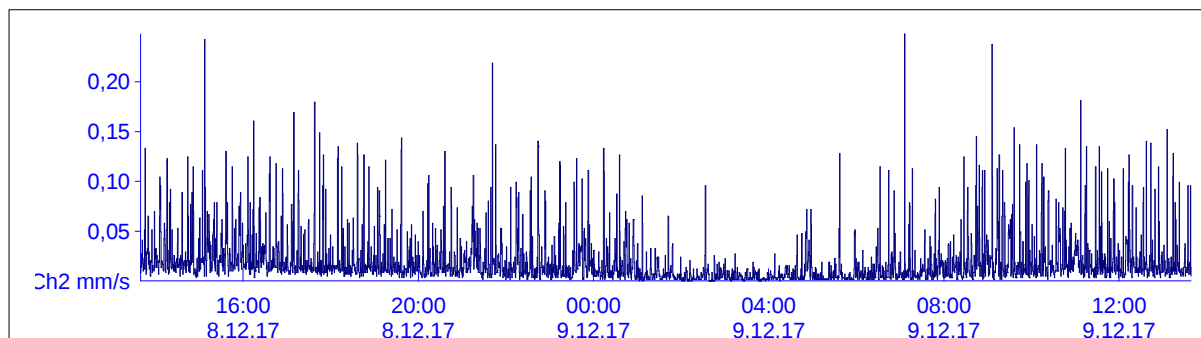
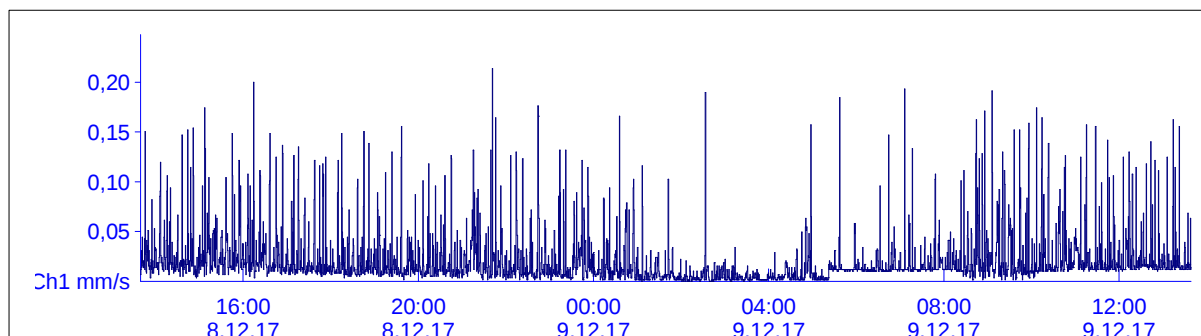


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17342005.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT30_10mdijk_school-16280005

Start: 8.12.17 13:39
End: 9.12.17 13:38
Interval: 30 s

Max (1): 0,214 mm/s
Max (2): 0,248 mm/s
Max (3): 0,244 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 02 van 8 op 9 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

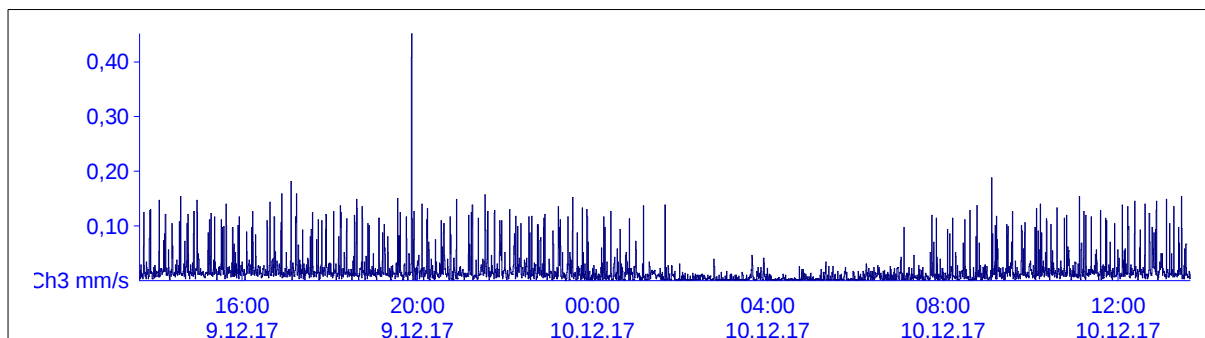
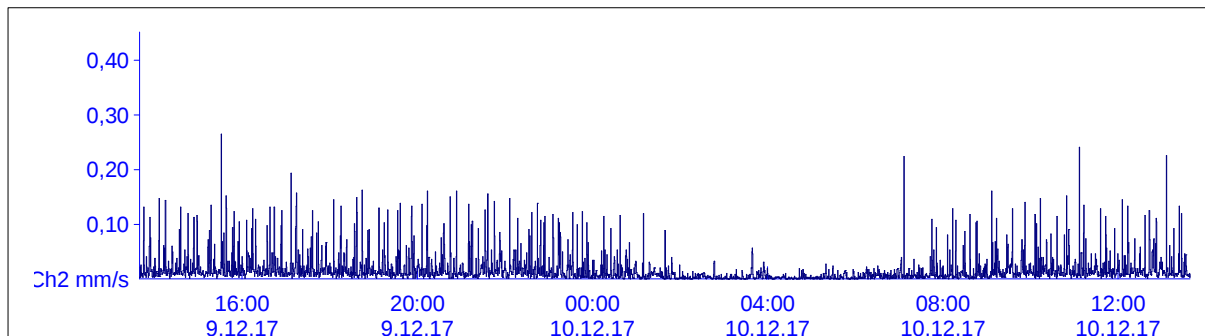
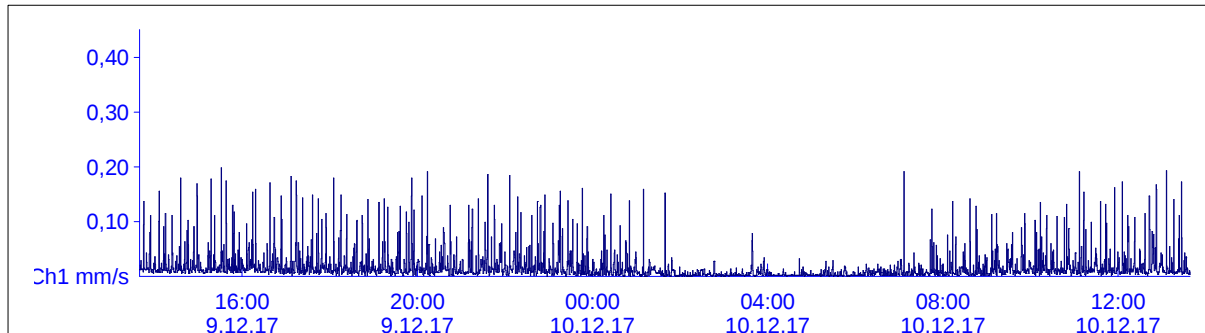
MR2002 - Vibration Data Evaluation



File Name: ...)\background\17343006.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT30_10mdijk_school-16280005

Start: 9.12.17 13:39
End: 10.12.17 13:38
Interval: 30 s

Max (1): 0,198 mm/s
Max (2): 0,265 mm/s
Max (3): 0,451 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 02 van 9 op 10 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horinzontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

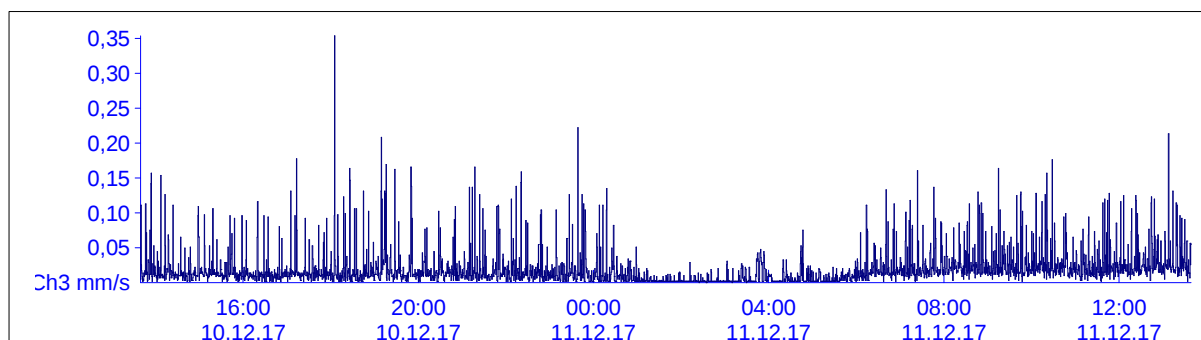
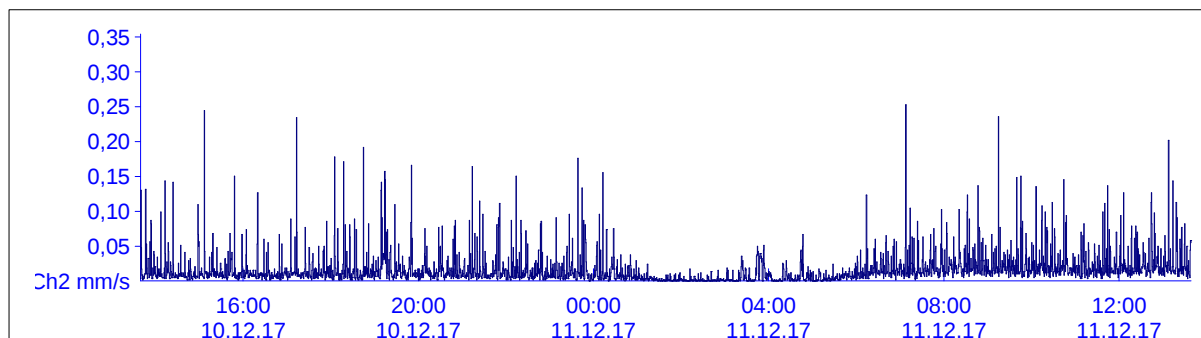
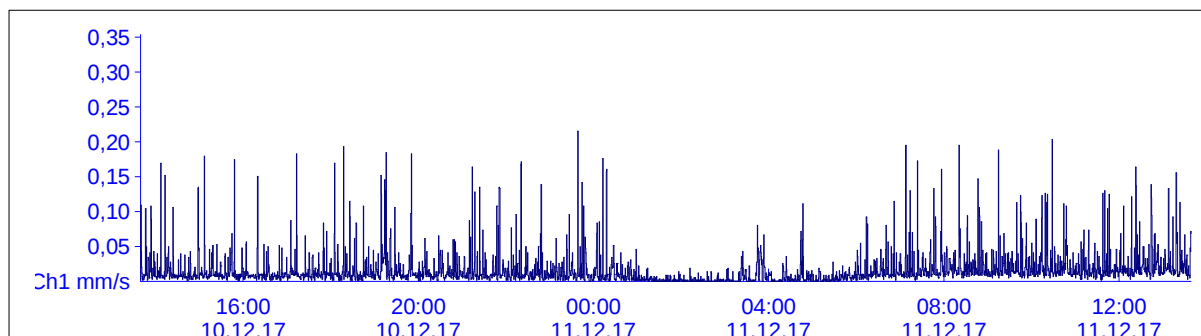


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17344007.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT30_10mdijk_school-16280005

Start: 10.12.17 13:39
End: 11.12.17 13:38
Interval: 30 s

Max (1): 0,215 mm/s
Max (2): 0,253 mm/s
Max (3): 0,354 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 02 van 10 op 11 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen

MR2002 - Vibration Data Evaluation

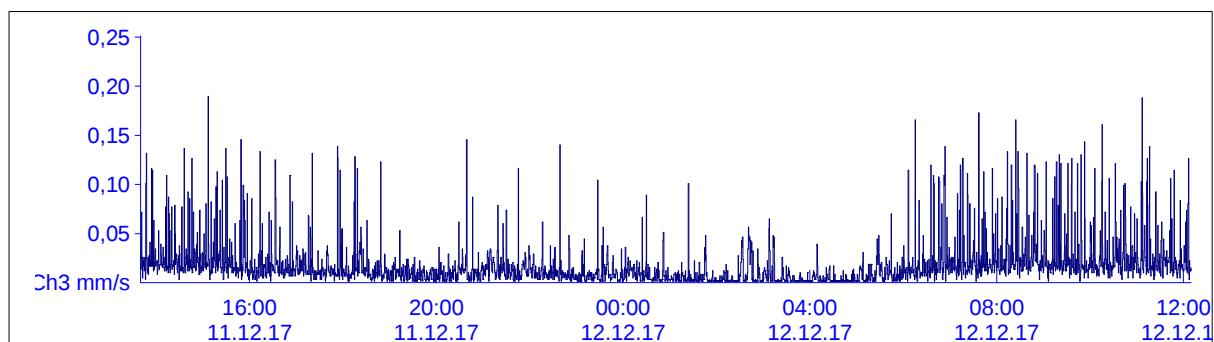
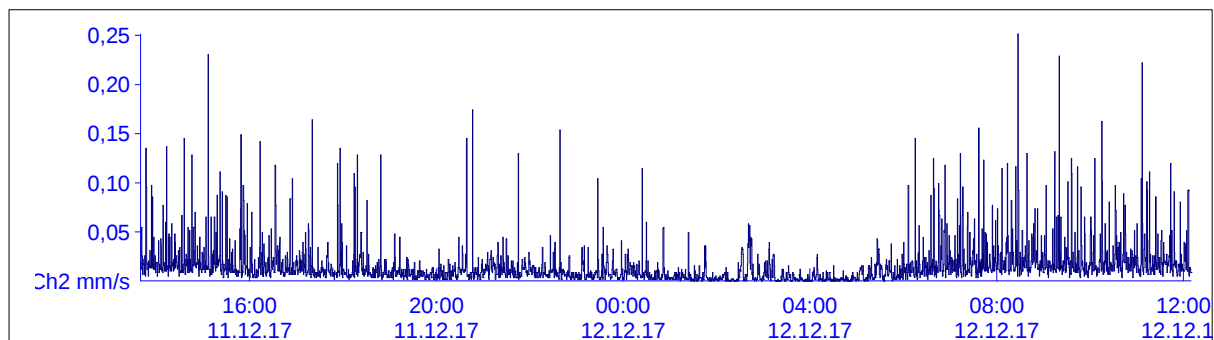
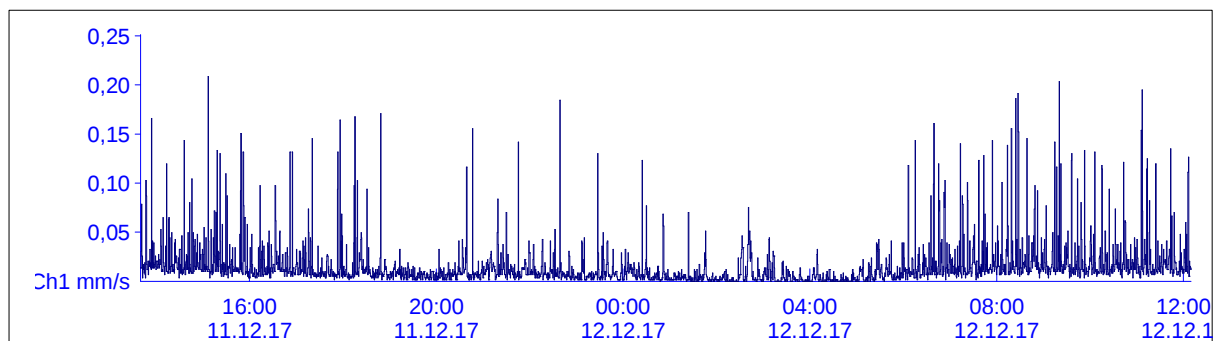


Cauberg-Huygen

File Name: ...)\background\17345008.BMR
MR-Name: XMR2002
Station: MT30_10mdijk_school-16280005

Start: 11.12.17 13:39
End: 12.12.17 12:09
Interval: 30 s

Max (1): 0,208 mm/s
Max (2): 0,251 mm/s
Max (3): 0,190 mm/s



Verloop veffmax,30,i voor meetpunt 02 van 11 op 12 december 2017

Kanaal 1: horizontale trillingen dwars op het spoor
Kanaal 2: horizontale trillingen evenwijdig aan het spoor
Kanaal 3: verticale trillingen